E 2039/A
FF8 000000 068323

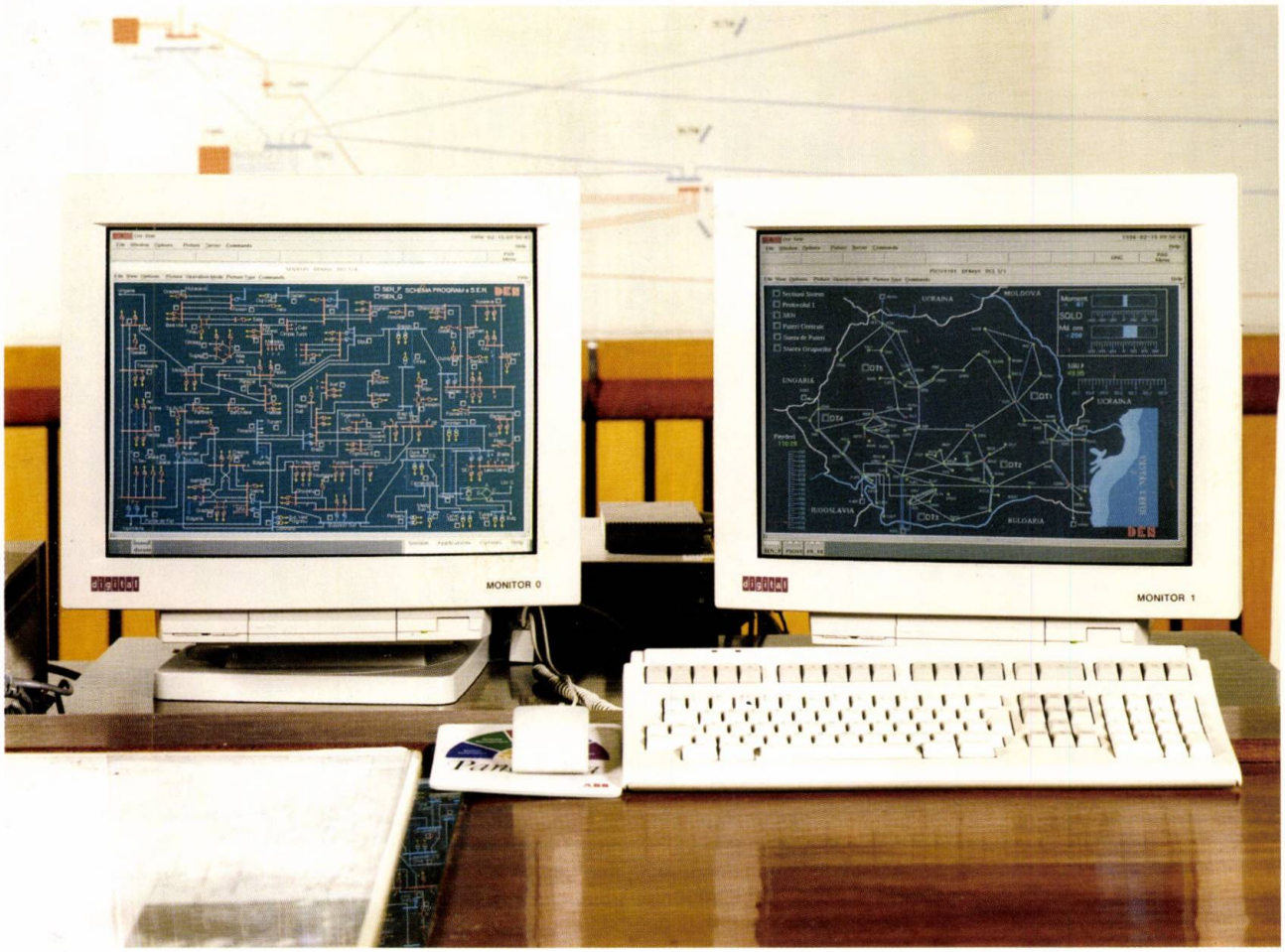
1 ENERGETICA

SERIA B

GSCI

e

IANUARIE - FEBRUARIE 1996



- Who makes the power world go round ?

- Power transmission technics !

ABB Romania Ltd.
16, Ion Cîmpineanu St.
70100 Bucharest

ORSZÁGOS MŰSZAKI INFORMÁCIÓS KÖZPONT ÉS KÖNYVTÁR 1883

ENERGETICA

REVISTA DE SPECIALITATE A ENERGETICIENILOR DIN ROMÂNIA

ANUL 44 | Nr.1, SERIA B | IANUARIE - FEBRUARIE 1996

ISSN 1220 - 5141

Revista ENERGETICA a fost înfiinţată în anul 1953, continuând tradiţia vechilor publicaţii inginereşti care au avut preocupări în domeniul energiei ca, de exemplu:

- **Diaru pentru vulgarizarea ştiinţelor naturale şi fizice (1870 - 1882);**
- **Buletinul Societăţii Politehnice (1887 - 1944);**
- **Buletinul Asociaţiei Generale a Inginerilor din România - AGIR (1919 - 1946);**
- **ENERGIA, editată de ing. Dumitru Leonida (1921);**
- **Buletinul Asociaţiei Producătorilor şi Distribuitorilor de Energie Electrică - APDE (1932 - 1944);**
- **Buletinul Institutului Român de Energie - IRE (1933 - 1944)**

Opiniile exprimate în articolele publicate în revista ENERGETICA aparţin autorilor acestora.

Orice reproducere integrală sau parţială, prin indiferent ce procedeu, a materialelor apărute în revista ENERGETICA poate fi făcută numai cu aprobarea biroului de redacţie. Sunt autorizate numai citările destinate lucrărilor ştiinţifice şi volumelor în care acestea sunt inserate .

Revista apare alternativ în două serii :

- **seria A, care tratează probleme de surse de energie, conversie de energie, poluare a mediului înconjurător, utilizare a căldurii etc.;**
- **seria B, care tratează probleme electrice, inclusiv ale centralelor electrice, staţiilor electrice, ale liniilor de transport şi distribuţie a energiei electrice , sisteme electroenergetice etc.**

Fiecare serie are 6 numere pe an .

Număr special "Tehnologii noi de mentenanţă"

CUPRINS

CORNELIU PÂSLARU: Editorial 3

ROXANA PALADE, VICTOR TEODOROIU, MARIAN VLĂDESCU: Diagnoza asistată de calculator - condiţii de realizare la instalaţiile de turbine cu abur 4 - 10

DAN ZLATANOVICI : Proceduri de supraveghere şi diagnoză "on-line", gestiune de date şi mentenanţă predictivă la generatoarele electrice de mare putere 11 - 19

FILIP ENGSTER , HORAŢIU SPÎNOCHE, VLADIMIR BERZAN: Metode de diagnoză a stării izolaţiilor statorice ale maşinilor electrice 20 - 26

ION CONECINI, CORNELIU PÂSLARU, RADU CONSTANTIN: Concepţia G.T.D.E.E. privind trecerea de la mentenanţa preventivă la cea bazată pe fiabilitate 27 - 30

CRISTIAN FEZI , MIRCEA SILAGHI , SORIN PICIU , CRISTIAN BUDU, NISTOR NICA: Tehnologie pentru depistarea din elicopter a contactelor defecte la LEA prin termografie în infraroşu 31 - 37

EUGEN MIHALCEA, LUCIAN CIUPULIGA: Estimarea periodicităţii optime a reviziilor întrerupătoarelor de medie tensiune cu ulei puţin 38 - 44

CRISTIAN SORIN PISPIRIS: Tehnologii de diagnoză a liniilor electrice în cablu 45 - 54

INFORMAŢII 26

RECENZII

CORNEL SFETCU, CORNEL BIANCHI : x x x Philips Lighting Manual, Eindhoven, 1993 10, 19

ADRIANA GEORGESCU, CORNEL BIANCHI: x x x History of Light and Lighting, Eindhoven, 1986 37

HRISIA MOROLDO, CORNEL BIANCHI : Vandeplanque, P. L'eclairage - notions de base - project d'installations. Ed. TEC - DOC - LAVOISIER, Londra - Paris - New York, 1993 54

Our review publishes ADVERTISMENTS for your PRODUCTS, TECHNOLOGIES, SERVICES, etc.

Please, contact us at the address:
Revista ENERGETICA
GSCI, B-dul Energeticienilor nr.8,
Bucureşti III, RO 79619
Phone : (401)322 06 92 ; (401)321 69 66/251
Fax: (401)321 10 10
Telex: 10783

COLEGIUL DE REDACŢIE

BIROUL: dr . ing. Eugeniu PAVEL - preşedinte, redactor-şef; dr. ing. Jean CONSTANTINESCU - redactor-şef adjunct; prof. dr. ing. Dumitru Cezar IONESCU - redactor-şef adjunct; ing. Vasile RUGINĂ - secretar de redacţie; ing. Radu OPINCARU; ing. Ion CONECINI; ing. Vladimir CONSTANTINESCU; conf. dr. ing. Virgil MUŞATESCU ; ing. Dan GHEORGHIU; ing. Nicolae NICULESCU; ing. Mihai NICOLAU; dr. ing. Ioan GANEA

MEMBRI: conf. dr. ing. Florin ALEXE; ing. Ovidiu APOSTOL; prof. dr. ing. Victor ATHANASOVICI; prof. dr. ing. Adrian BADEA ; prof. dr. ing. Cornel BIANCHI; ing. Paul CARTIANU; ing. Mircea CÂRDU; prof. dr. ing. Dorin CRISTESCU; prof. dr. ing. Nicolae DĂNILĂ; dr. ing. Laurenţiu GOIA; prof dr. ing. Nicolae GOLOVANOV ; prof. dr. ing. Dumitru IVAS; prof. dr. ing Aureliu LECA; dr. ing. Gheorghe LUCA; dr. ing. Magdalena MATEI; ing. Cornel MOŢIU; prof. dr. ing. Costin MOŢOIU ; prof. dr. ing. Constantin NEAGA; prof. ing. Mircea NEMEŞ; prof. dr. ing. Valeriu NISTREANU; ing. Cornel PÂSLARU; prof. dr. ing. Alexandru POEATĂ; dr. ing. Marius POMÂRLEANU; prof. dr. ing. Florin POP; dr. ing. Teodor POPA; dr. ing. Anca POPESCU; ing. Miron POPESCU; conf. dr. ing. Petre POSTOLACHE; dr. ing. Dan Ion PREDOIU; ing. Radu REGMAN; ing. Gabriel ROMAŞCU; ing. Anton ROŞU ; ing. Margarios SALGIAN; ing. Alexandru SĂNDULESCU; ing. Emilian SIMIAN; ing. Cristian TOTOLO; ing. Anton VLĂDESCU

Redactor : Ana Maria CHIVU

Tiparul executat la GSCI

Redacţia şi administraţia: GSCI, B-dul Energeticienilor nr.8, sector 3, CP 79619, Bucureşti
Telefon: (401)322 06 92; (401)321 69 66/251; Telex : 10783; Fax: (401)321 10 10

Editorial

Unul din obiectivele principale cu care se confruntă Grupul de Transport şi Distribuţie a Energiei Electrice (GTDEE) este asigurarea siguranţei în funcţionare a instalaţiilor din gestiunea Grupului. Această preocupare derivă din faptul că majoritatea instalaţiilor din dotarea filialelor de reţele electrice au echipamente, aparate şi tehnologii la nivelul anilor 1963 - 1965, cea mai mare parte a instalaţiilor au vechime mare în exploatare şi durata de funcţionare depăşită.

Astăzi, când economia de piaţă se face tot mai prezentă în România, furnizorului de energie electrică îi revin obligaţii sporite faţă de clienţi. În vederea obţinerii unor indicatori de performanţă ridicaţi ai reţelelor, GTDEE acţionează pentru îmbunătăţirea activităţilor de concepţie, proiectare, montaj şi exploatare a tuturor categoriilor de instalaţii electrice, cu implicaţii directe în creşterea siguranţei în funcţionare a acestora.

Siguranţa în funcţionare a instalaţiilor de transport şi distribuţie a energiei electrice este reprezentată atât de fiabilitatea potenţială (obţinută prin concepţie şi proiectare), cât şi de fiabilitatea operaţională (în funcţionare), care depinde în mod esenţial de lucrările de mentenanţă. Este necesară adoptarea unui sistem eficient de lucrări de mentenanţă, care contribuie cu un ansamblu de mijloace şi măsuri de control, testare, întreţinere şi reparare, programate şi neprogramate, în scopul dobândirii unui nivel dorit de fiabilitate.

Siguranţa în funcţionare a unei instalaţii energetice este o calitate a acesteia, determinată de configuraţia sa, de caracteristicile tehnice ale componentelor sale, de dotarea tehnică cu dispozitive de protecţie, automatizare, control, comandă, de modul de organizare a exploatării şi de regimul său de funcţionare. Având în vedere elementele care concură la siguranţa în funcţionare a instalaţiilor, în cadrul GTDEE, pentru creşterea eficienţei economice, s-a trecut de la mentenanţa planificată, efectuată la intervale predeterminate de timp, la aceea bazată pe comportarea în timp a echipamentelor (mentenanţa predictivă şi proiectivă), iar în vederea optimizării acestei activităţi se trece la mentenanţa bazată pe fiabilitate (RCM - Reliability Centered Maintenance).

Direcţiile principale ale aplicării acestui tip de mentenanţă au în vedere următoarele:

- îmbunătăţirea fiabilităţii instalaţiilor;
- optimizarea resurselor de mentenanţă;
- selectarea echipamentelor şi a aparatajului, care necesită un anumit tip de mentenanţă;
- utilizarea feed-backului, rezultat din exploatare, astfel încât să se asigure creşterea fiabilităţii şi disponibilităţii instalaţiilor electrice prin concepţie, fabricaţie, acurateţe la montaj.

Prelucrarea sistematică a comportării în funcţionare a instalaţiilor, bazată pe metode statistice-probabilistice şi analize diagnostic, aplicată în unele filiale, a putut oferi informaţii importante cu privire la fiabilitatea şi disponibilitatea echipamentelor, gradul de pregătire a personalului de exploatare, organizarea activităţilor de întreţinere şi reparaţii, precum şi asupra necesarului de piese de rezervă.

În ultima perioadă de timp a crescut preocuparea GTDEE în ceea ce priveşte îmbunătăţirea disponibilităţii instalaţiilor electrice, definită ca aptitudinea acestora de a-şi îndeplini funcţiile specifice, la un moment dat, sau într-un interval de timp, luând în considerare aspectele combinate de fiabilitate, mentenabilitate şi mentenanţă.

Creşterea disponibilităţii se bazează în principal pe trei căi de reducere a duratelor de indisponibilitate, şi anume:

- scăderea numărului de defectări prin asigurarea unor echipamente performante;
- reducerea duratelor de reparare printr-o organizare optimă a acestei activităţi;
- creşterea nivelului de pregătire al personalului de exploatare.

În vederea îndeplinirii deziderатului de a obţine siguranţa maximă în funcţionarea instalaţiilor electrice şi la costuri cât mai reduse, GTDEE va urgenta introducerea unui sistem unitar de urmărire a comportării în exploatare a instalaţiilor din dotare, creând premisele generalizării, într-un viitor foarte apropiat, a aplicării integrate a mentenanţei preventive, predictive, proiectare, care va conduce la mentenanţa bazată pe fiabilitate.

ing. Corneliu Pâslaru
Membru al Colegiului de Redacţie
director tehnic al GTDEE

DIAGNOZA ASISTATĂ DE CALCULATOR - CONDIŢII DE REALIZARE LA INSTALAŢIILE DE TURBINE CU ABUR

ing. ROXANA PALADE; ing. VICTOR TEODOROIU; ing. MARIAN VLĂDESCU *

În articol se schiţează cadrul general al diagnozei instalaţiilor energetice şi conceptul diagnozei asistate de calculator (DAC).

La turbinele cu abur, aceasta se realizează pe baza unor module structurate pe subansambluri tehnologice sau categorii de parametri funcţionali. Autorii au abordat realizarea unor module de diagnoză pentru turbinele de tip DSL-50-1 existente în centralele de termoficare din ţara noastră. Dotarea acestor instalaţii cu sisteme de supraveghere în timp real a proceselor tehnologice oferă posibilitatea integrării modulelor DAC în sistemele respective. Aceasta a permis trecerea de la diagnoza de tip off-line la diagnoza on-line, cele două tipuri de module fiind ilustrate în articol prin exemple.

In final se fac referiri la fiabilitatea preluării on-line a datelor de intrare ale modulelor de diagnoză.

The general framework of the energy equipment diagnosis and the concept of the computer assisted diagnosis (DAC) is presented.

As regards the steam turbines, this procedure is carried out by means of some modules which are structured by technological sub-assemblies or by categories of operating parameters. The authors discuss upon the carrying out of some diagnosing modules for the DSL-50-1 type turbines existing in the district heating plants in our country. Equipping these outfits with real time monitors for technological processes makes possible the DAC modules implementation in the respective systems.

Due to this procedure the diagnosis of off-line type was changed to on-line type and the two module types are exemplified in this article .

Finally, references are made to reliability of on-line input data on the diagnosis modules.

Descriptori : diagnoză, inteligenţă artificială, turbine cu abur

1. Cadrul general

În tehnică, termenul de diagnoză intervine cu accepţia sa uzuală, desemnând acţiunea de identificare a condiţiilor, care generează efectele (simptome) constatate.

Exploatarea instalaţiilor complexe din centralele termoelectrice presupune utilizarea diagnozei pentru limitarea supraconsumurilor de resurse şi pentru ghidarea mentenanţei.

Diagnoza se bazează pe analiza parametrilor tehnologici, obţinuţi prin aparatura de măsură din dotarea standard a instalaţiilor, prin aparatura montată special pentru anumite probe/măsurători, pe analize fizico-chimice de eşantioane (metalice, din fluide de lucru etc.) şi prelucrarea statistică a rezultatelor.

Instalarea în centralele termoelectrice a sistemelor de supraveghere în timp real a proceselor tehnologice s-a făcut în ritmul progresului electronicii industriale şi al dezvoltării reţelelor de transmisie şi prelucrare a datelor. Pe această cale, s-a ajuns la o nouă centralizare a informaţiilor preluate din instalaţie, care devin accesibile pe monitoare aflate în punctele de control/camerele de comandă ale centralelor. Cantitatea de informaţii oferite pe această cale operatorilor poate fi sistematizată, ierarhizată, stocată cu ajutorul calculatoarelor electronice. Informatizarea supravegherii proceselor tehnologice permite ca de la simpla afişare pe monitor a

* RENEL - Grupul de Studii, Cercetări şi Inginerie - GSCI, Bucureşti

parametrilor de funcţionare să se treacă la prelucrarea informaţiei disponibile, inclusiv după cerinţele diagnozei, în sensul uzual acceptat.

Unii autori [1, 2] consideră că diagnoza asistată de calculator (DAC) oferă nu numai diagnostice, în sensul uzual, ci, în general, "concentrate" de informaţie. Concret, concentrarea informaţiei se integrează în:

- analiza modificării parametrilor de funcţionare, comparaţia între valori momentane şi valori preliminate/predictibile ale parametrilor;
- calculul unor indicatori de sinteză referitori la eficienţa funcţionării;
- planificarea unor regimuri de exploatare;
- identificarea cauzelor sau a condiţiilor de defecţiune;
- recomandări pentru intervenţia operatorilor sau pentru planificarea unor lucrări de mentenanţă.

DAC semnalează existenţa premiselor de dezvoltare a unor fenomene care afectează economicitatea sau siguranţa funcţionării agregatelor.

DAC poate fi de tip on-line, dacă programele de calcul prelucrează în timp real valorile instantanee ale parametrilor preluaţi, sau de tip off-line, dacă aceste valori sunt stocate pentru a fi introduse ulterior ca mărimi de intrare în programele de calcul (de diagnoză).

2. Implementarea DAC la instalaţiile de turbină cu abur

Integrarea funcţională a subansamblurilor în instalaţia grupului turbină-generator electric se reflectă şi în concepţia modulară a programelor de calcul dedicate DAC. Modulul este, în sine, un program de calcul afectat unui domeniu de analiză - subansamblu tehnologic sau categorie de parametri -, în scopul degajării unor informaţii relevante pentru diagnoză. Această concepţie, adoptată şi de Siemens/KWU [1], se reflectă în structura prezentată de tabelele 1 şi 2.

Tabelul 1

Denumire modul	Vibraţii	Sistemul de lagăre	Durata de viaţă	Condiţii termodinamice
Domeniu	Analiză de frecvenţă a vibraţiilor ca bază pentru detectarea dezvoltării de fisuri	Supraveghere de presiuni şi temperaturi ulei ungere şi ridicare rotoare, temperaturi metal	Consum de durată de viaţă a materialelor datorită oboselii (solicitări alternate, fluaj)	Randamente turbină, influenţa schemei termice a funcţionării PJP şi PIP asupra acestora

În tabelul 1 sunt enumerate modulele de diagnoză ce pot oferi informaţii la nivelul grupului energetic, iar în tabelul 2 se găsesc modulele concepute pentru componente. Această structurare este adecvată tratării bazei de cunoştinţe tehnologice aferente unui modul ca sistem deschis, permiţând îmbogăţirea ulterioară a acesteia.

Tabelul 2

Denumire modul	Turbină	Condensator	Generator
Domeniu	Automatizare Funcţionare armături Deformaţii carcase Palete	Condiţii de realizare a schimbului de căldură (grad de curăţenie a ţevilor, infiltraţii de aer, debit apă de răcire)	Conductoare şi izolaţie Excitaţie Etanşări Sistem de răcire

În contiuare se prezintă succint condiţiile specifice şi realizarea unor module de diagnoză destinate turbinei DSL-50-1.

Modulul de diagnoză este definit prin baza de cunoştinţe aferentă domeniului respectiv şi prin funcţiile sale. În acest cadru, programul de calcul corelează mărimile de intrare/ieşire ale modulului. S-au realizat versiuni off-line ale modulelor de diagnoză în scopul testării şi perfecţionării acestor programe. Ulterior, pe baza analizei condiţiilor reale de integrare în sistemul de supraveghere în timp real a procesului tehnologic, s-a creat versiunea on-line a modulului "turbina cu abur".

3. Modulul "sistemul de lagăre"

3.1. Consideraţii tehnologice

Starea funcţională a sistemului de lagăre este corelată cu menţinerea;

- valorilor admisibile ale dilatărilor relative stator-rotor;
- nivelului admisibil al vibraţiilor, în cazul unei linii de arbori normale;
- regimului termic nedistructiv pentru lagăre.

Regimul termic al lagărelor depinde de:

- funcţionarea filtrelor şi răcitoarelor de ulei pentru evacuarea cantităţii de căldură produsă în lagăre;
- integritatea mecanică a lagărelor;
- asigurarea presiunii de ulei (în lagăre) în limite normale.

Sistemul de lagăre pentru turbină include:

- lagărele şi cuplajele turbinei;
- lagărele generatorului;
- sistemul de ulei ungere.

Diagnoza stării şi a funcţionării sistemului de lagăre presupune existenţa unei baze de cunoştinţe

referitoare la avariile acestuia şi îmbogăţirea ei cu rezultate relevante ale unor noi analize de avarie.

3.2. Prezentarea versiunii off-line a modulului

Acest modul este actualmente disponibil în versiunea off-line, având ca obiectiv evaluarea integrităţii lagărelor turbinei, a fusurilor de rotor şi localizarea defectelor. Specifică acestei versiuni este existenţa funcţiilor de interfaţă pentru introducerea valorilor de referinţă şi măsurare ale parametrilor tehnologici.

În figura 1 se prezintă schema simplificată a grupului cu evidenţierea componentelor din sistemul tehnologic analizat, care se afişează pe monitorul calculatorului. Discurile numerotate în schemă sunt colorate, iar schimbarea culorii acestora, din verde în portocaliu (sau roşu) semnalizează existenţa unui mesaj de diagnoză ataşat punctului respectiv.

deteriorarea lagărului 1 radial-axial (LRA-1) se poate manifesta prin depăşirea valorilor de referinţă pentru temperatura metalului, respectiv a uleiului, la acest lagăr şi pentru vibraţii. Mesajul "defecţiuni LRA-1", ataşat punctului 2 din schemă este setat (activat) dacă măcar una din următoarele patru condiţii este îndeplinită:

(I) (temperatură metal LRA1 > temperatură metal LRA1 max.) şi (temperatură ulei parte activă LRA1 > temperatură ulei parte activă LRA1 max.) şi (nivel vibraţii LRA1 > nivel vibraţii LRA1 max.)

(II) (temperatură metal LRA1>temperatură metal LRA1 max.) şi (temperatură ulei parte activă LRA1 > temperatură ulei parte activă LRA1 max.)

(III) (temperatură metal LRA1 > temperatură metal LRA1 max.)

(IV) (temperatură ulei parte activă LRA1 > temperatură ulei parte activă LRA1 max.)

Din punct de vedere funcţional, modulul de diagnoză off-line "sistemul de lagăre" respectă

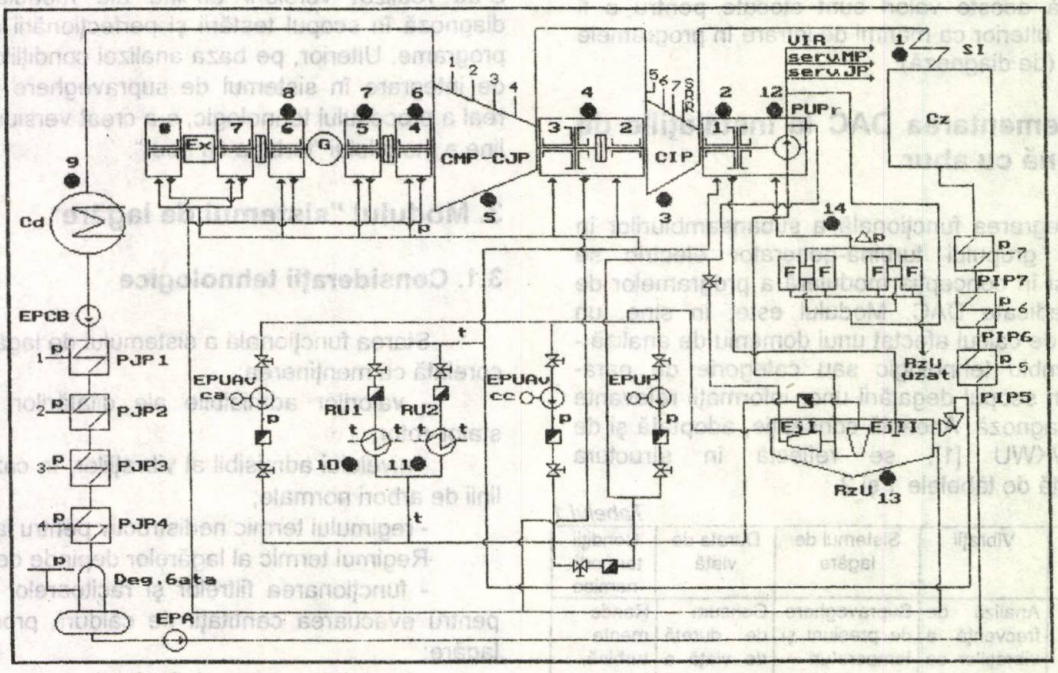


Fig.1. Schema termică a grupului - modulul "sistemul de lagăre".

Mesajele care semnalizează defecţiunea unei componente a instalaţiei se generează ca efect al modificării anormale a valorilor unor parametri. Corelaţiile sunt realizate în baza formalizării bazei de cunoştinţe sub forma unor reguli.

Fiecărui punct din schemă (fig.1) îi este ataşat un număr de mesaje specifice. De exemplu, structura unui sistem expert, permiţând extinderea bazei de cunoştinţe, pe baza introducerii unor noi reguli. Matricea legăturilor cauză-efect folosită în acest program se poate modifica ulterior nu numai cantitativ, prin adăugarea unor noi linii (efecte) şi coloane (cauze), ci şi ameliora calitativ, prin acordarea de ponderi ("niveluri de încredere")

uzelor, restrângând astfel aria defectelor luate în nsiderare.

Modulul "turbina cu abur"

1. Concepţie

Realizarea unui program de calcul specific agnozei on-line a avut ca scop implementarea odulului respectiv la grupul 1 din FE Braşov urbină cu abur tip DSL-50-1), prin integrarea sa în stemul de supraveghere în timp real a procesului hnologic. Sistemul preia, în prezent, din instalaţia rbinei, un număr destul de redus de parametri. entru valorificarea optimă a datelor disponibile, în rogramul informatic realizat au fost incluse funcţii are sunt specifice modulelor de diagnoză "condiţii rmodinamice", respectiv "turbina cu abur", schiţate pct.2, tabelele 1 şi 2. Rezultatul este un modul enumit, totuşi, "turbina cu abur", dezvoltat atât în ersiune off-line, cât şi în versiune on-line.

.2. Prezentarea versiunii on-line a modulului

Când modulul de diagnoză este în execuţie, e monitor se afişează schema termică a grupului (fig. 2).

Punctele din schemă au asociate câte un disc colorat, a cărui culoare are următoarele semnificaţii:

- nu există mesaje de semnalizare legate de funcţionarea segmentului de schemă reprezentat de punctul respectiv - culoarea verde;
- există mesaje de semnalizare - culoare portocalie.

Mesajele de diagnoză şi parametrii măsuraţi, care s-au ataşat punctelor figurate pe schemă, se pot afişa pe display şi se pot tipări la imprimanta locală.

Pentru obiective de calcul şi analiză tehnologică, structura modulului include următoarele subprograme :

1 - testare a condiţiilor de lansare în execuţie a subprogramelor de calcul şi analiză;

2 - semnalizare pentru funcţionarea turbinei cu parametri ridicaţi ai aburului viu;

3 - localizare de erori care afectează unele mărimi de intrare;

4 - confirmare a funcţionării PIP/PJP şi actualizarea schemei termice afişate pe monitor;

5 - detectarea depunerii de săruri în turbină;

6 - calcul al indicatorilor de funcţionare ai turbinei.

Indicatorii de funcţionare ai turbinei, care se accesează în articolul "Rezultate calcule" din meniul principal afişat pe monitor, sunt:

- randamentul intern al corpului de înaltă presiune al turbinei;

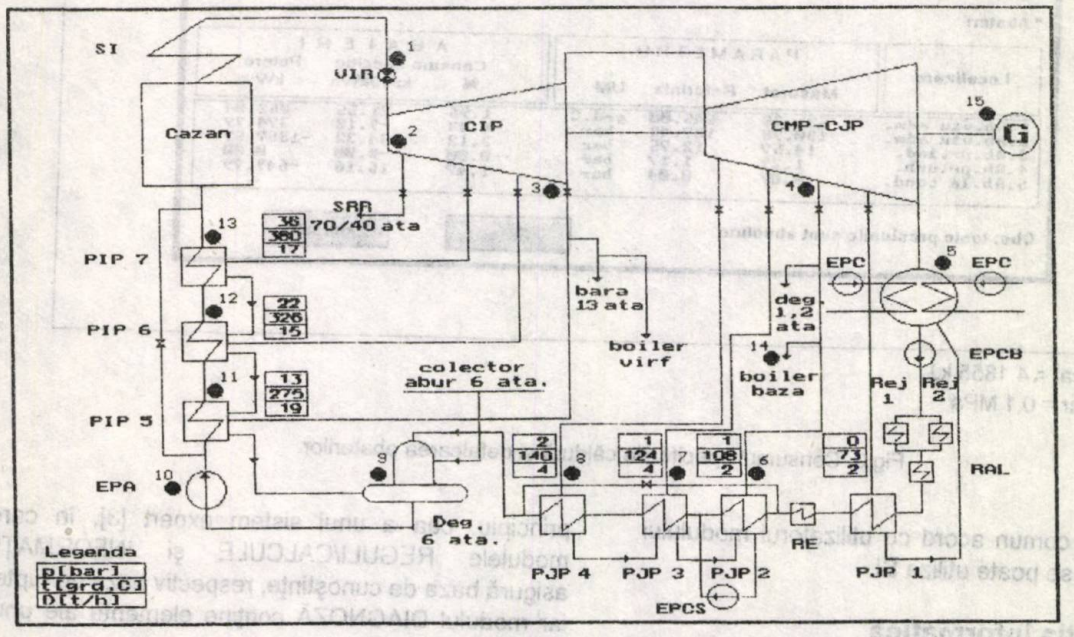


Fig.2. Schema termică a grupului - modulul "turbina cu abur": 1 - admisia aburului CIP; 2 - camera treptei de reglare CIP; 3 - priza 5 (termoficare industrială); 4 - priza 2 (termoficare urbană); 5 - condensatorul; 6 - PJP-2; 7 - PJP-3; 8 - PJP-4; 9 - degazorul 6 ata; 10 - EPA; 11 - PIP-5; 12 - PIP-6; 13 - PIP-7; 14 - boilerul de bază; 15 - generatorul electric.

- consumul specific de căldură al grupului pentru livrarea energiei electrice;

- abaterile de putere la bornele generatorului electric şi echivalentul lor în abateri de consum specific de căldură, stabilite în raport cu ecartul faţă de valoarea de referinţă pentru: temperatura aburului viu, presiunea aburului viu, presiunea aburului în camera prizei de termoficare industrială, respectiv urbană, presiunea aburului la condensator.

Pentru ilustrare, în figura 3 se prezintă consumul specific de căldură pentru livrarea de energie electrică, precum şi abaterile menţionate, obţinute pentru un regim de funcţionare a grupului în perioada de testare a modulului.

Mărimile afişate în tabelul "Consum specific, abateri" din figura 3 sunt exprimate în unităţile de măsură folosite uzual în exploatarea centralelor

DSL50 - program pentru diagnoza stării şi funcţionării turbinei cu abur pe baza analizei parametrilor termodinamici - au fost scrise sub Windows (Microsoft Windows 3.1), beneficiind de facilităţile grafice şi interfaţa "prietenoasă" oferită de acest sistem.

Din punct de vedere funcţional programele au următoarea structură modulară (fig.4):

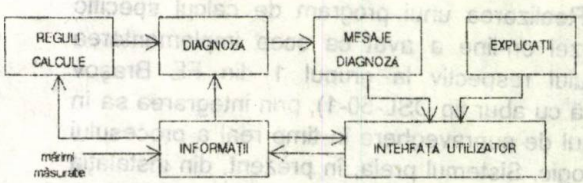
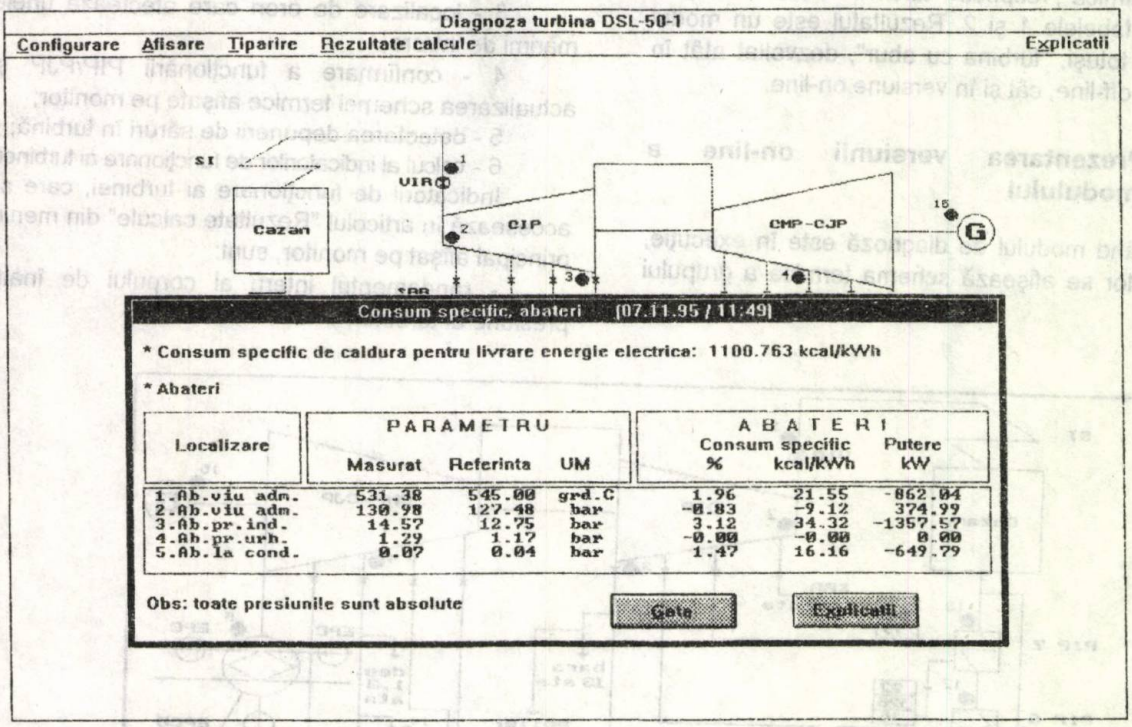


Fig.4. Structura programelor DLAG şi DSL50

Structura prezentată în figura 4 este, în



* 1 kcal = 4,1855 kJ

** 1 bar = 0,1 MPa

Fig.3. Consumul specific de căldură şi defalcarea abaterilor.

electrice. De comun acord cu utilizatorul modulului de diagnoză, se poate utiliza SI.

5. Concepţia informatică

Programele DLAG - program pentru diagnoza stării şi funcţionării lagărelor turbinei cu abur - şi

principiu, cea a unui sistem expert [3], în care modulele REGULI/CALCULE şi INFORMAŢII asigură baza de cunoştinţe, respectiv baza de fapte, iar modulul DIAGNOZĂ conţine elemente ale unui motor de inferenţă.

În versiunile off-line ale programelor DLAG şi DSL50, informaţiile referitoare la proces (valori ale

parametrilor, valori de referinţă, starea unor elemente de execuţie) sunt introduse de la tastatură de către operator; în figura 4 acest flux este reprezentat prin "săgeata" orientată de la modulul INTERFAŢĂ UTILIZATOR către modulul INFORMAŢII. Pentru versiunea on-line a programului DSL50 aceste informaţii sunt preluate din proces, prin intermediul sistemului de urmărire în timp real a procesului tehnologic.

Modulul de diagnoză on-line nu posedă interfaţa software necesară preluării directe a parametrilor tehnologici din proces, de aceea între proces şi modulul de diagnoză se interpune un sistem de achiziţie de date de tip SCADA (**S**upervisory **C**ontrol **A**nd **D**ata **A**cquisition). Concret, modulul de diagnoză este integrat în sistemul de supravegehere în timp real a procesului, programul de diagnoză executându-se pe un calculator cuplat la reţeaua locală utilizată de acest sistem.

Cuplarea modulului de diagnoză la sistemul de achiziţie de date, precum şi fluxul de date şi informaţii în cadrul aplicaţiei de diagnoză sunt prezentate în figura 5.

Informaţia oferită de modulul de diagnoză este efectiv utilizată de operatorul instalaţiei în procese de evaluare care fundamentează deciziile sale.

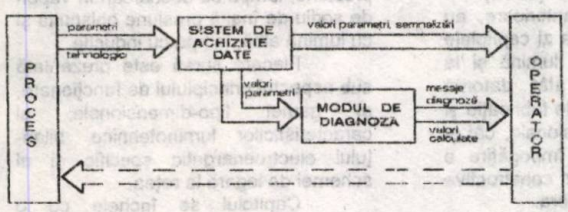


Fig.5. Poziţia modulului de diagnoză on-line DSL50 în sistemul de urmărire în timp real a procesului tehnologic.

6. Condiţii de realizare a DAC la instalaţiile de turbină cu abur

Obiectivele şi concepţia DAC în acest domeniu au fost abordate la punctul 2. Reflectarea acestora în structura unor module de diagnoză destinate turbinei DSL-50-1 a făcut obiectul unor succinte prezentări, la punctele 3 şi 4. Prin acestea s-a urmărit evidenţierea posibilităţilor oferite diagnozei de sistemele informatice şi a importanţei integrării modulelor de diagnoză în sistemul de supraveghere în timp real a procesului tehnologic.

Datele de intrare cu care operează un modul de diagnoză se preiau din fişiere pregătite de acest sistem, la intervalul de timp dorit, în cazul diagnozei on-line, sau pentru stocare, în cazul valorificării lor prin diagnoză off-line. Analiza primară a acestor date se face cu ajutorul unor algoritmi de validare ai modulului.

Lipsa valorii unei mărimi de intrare - datorită unor defecţiuni în instalaţia AMC - duce nu numai la o limitare a informaţiei primare, ci poate bloca unele subprograme din structura modulului, dacă nu există redundanţă. Pentru această situaţie, s-au prevăzut modalităţi adecvate de tratare a datelor disponibile.

De fapt, din analiza condiţiilor existente la unele grupuri a rezultat că implementarea DAC necesită nu numai o îmbunătăţire a fiabilităţii instalaţiei AMC, ci şi creşterea numărului de parametri funcţionali preluaţi de sistemul de supraveghere în timp real. Existenţa acestui sistem în instalaţia grupului respectiv constituie deja o condiţie favorabilă pentru introducerea DAC, care trebuie valorificată, chiar cu preţul unor adaptări în acest sens.

Această prezentare evidenţiază posibilitatea integrării etapizate a modulelor de diagnoză asistată de calculator în sistemul de supraveghere în timp real a funcţionării unei turbine cu abur. Se obţine, astfel, o completare a mijloacelor de diagnoză utilizate în exploatarea instalaţiei respective.

BIBLIOGRAFIE

[1] Zörner, W şi col. *Diagnostics System for Monitoring the Operation of Steam Turbine Generator Sets*, In: VGB Kraftwerkstechnik 6/1991

[2] Wutsdorf, P. *An Expert System for Diagnosing the Condition of Steam Turbines.* In: VGB Kraftwerkstechnik 5/1991

[3] Vale, Z. şi Moura, A. *An Expert System with Temporal Reasoning for Alarm Processing in Power System Control Centers.* In: *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol.8, No 3, August 1993

Referent: dr. ing. Eugeniu Pavel - redactor-şef revista Energetica

(Primit la 6 decembrie 1995, acceptat la 20 decembrie 1995)

NOTA REDACŢIEI. Este meritoriu pentru autori că au abordat una dintre problemele actuale ale tehnicii conducerii instalaţiilor asistate de calculator: DAC.

Din punct de vedere economic, diagnoza face parte din acţiunile preventive de mare eficacitate în operaţiile de exploatare, inclusiv mentenanţa.

Pentru dezvoltarea temei, autorii folosesc, în principal, literatura de specialitate germană (VGB), foarte valoroasă. În ultimul timp subiectul privitor la aplicaţiile inteligenţei artificiale în exploatarea instalaţiilor energetice a căpătat un loc foarte larg în literatura de specialitate mondială.

Era util ca autorii să ne prezinte o vedere generală a stadiului aplicaţiilor respective în lume, din care să rezulte, prin comparaţie, situaţia şi nivelul preocupărilor din ţara noastră. Chiar dacă străduinţele autorilor reprezintă primii paşi în cercetarea românească valoarea efortului trebuie recunoscută.

Cu toate aceste observaţii, redacţia a considerat - în urma discuţiilor din analiza de grup - că lucrarea merită să fie publicată în forma prezentată.

dr. ing. Eugeniu Pavel

NOTA AUTORILOR. Pe baza observaţiilor redacţiei, după analiza articolului propus, dorim să exprimăm următoarele puncte de vedere:

Suntem de acord că o prezentare a stadiului actual de dezvoltare a diagnozei asistate de calculator (DAC) ar fi fost interesantă, însă în acelaşi timp limitată la informaţiile tehnice din publicaţiile de specialitate pe care le-am consultat.

Menţionăm că structura modulară, din punct de vedere tehnologic, adoptată în lucrarea noastră şi de sistem expert, din punctul de vedere al tratării informaţiei, reprezintă pentru DAC, după ştiinţa noastră, nivelul actual de referinţă.

ing. Roxana Palade; ing. Victor Teodoroiu; ing. Marian Vlădescu

Recenzie

Philips Lighting: LIGHTING MANUAL. Fifth edition, Ed. Philips Eindhoven 1993

La mai bine de 22 de ani de la apariţia primei ediţii, " *Philips Lighting Manual" (Manualul pentru iluminat, Philips)* este considerată, în rândul specialiştilor din lumea întreagă, ca una dintre cele mai complete lucrări în domeniul luminii şi iluminatului.

Prima ediţie din 1974, tradusă în limbile engleză, franceză, germană şi spaniolă a fost urmată la numai un an, în 1975, de o a doua, datorită înregistrării unei cereri uriaşe pe întreg cuprinsul globului.

Ediţiile trei şi patru, din 1981 şi respectiv din 1986, au reactualizat prezentarea prin aducerea la zi, de fiecare dată, a specificaţiilor tehnice şi de calitate a echipamentelor, a tehnicilor de concepţie şi proiectare ca şi prin completarea acestora cu exemple de calcul.

Este rândul celei de a cincea ediţii să devină lucrarea de bază a majorităţii celor ce îşi desfăşoară activitatea didactică, de cercetare, concepţie sau promovare în domeniul sistemelor de iluminat (cadre didactice, ingineri, arhitecţi, consultanţi etc) şi considerăm că ne facem o datorie de onoare faţă de specialiştii români prin prezentarea unei recenzii a acesteia.

Pentru partea introductivă, considerăm că o simplă trecere în revistă, fără alte comentarii, a bazelor teoretice şi practice de concepţie şi realizare a acestei ediţii a *Manualului de iluminat Philips* va fi edificatoare:

- acumulările teoretice şi practice de-a lungul celor mai bine de 100 de ani de activitate a companiei;
- imaginea reprezentativă a sutelor de proiecte finalizate practic pe toate meridianele lumii;
- succesul şi notorietatea celor patru ediţii anterioare;
- experienţa specialiştilor din cadrul Centrului de Proiectare şi Aplicaţii în Iluminat (LiDAC), existent în Eindhoven;
- introducerea ultimelor recomandări şi norme teoretice şi practice ale Comisiei Internaţionale de Iluminat (CIE), din care face parte şi Comitetul Naţional Român de Iluminat (CNRI).

Faţă de ediţiile anterioare, au fost modificate şi aduse la zi capitolele referitoare la sursele de lumină şi la corpurile de iluminat, atât datorită progreselor tehnologiilor de fabricaţie şi gamei sporite tipo-dimensionale, cât şi necesităţii practice de îmbogăţire a prezentării performanţelor constructive şi luminotehnice ale acestora.

În secţiunile rezervate aplicaţiilor şi activităţii efective de proiectare s-au inclus ultimele recomandări ale Comisiei Internaţionale de Iluminat, iar modele teoretice, însoţite de exemplu de calcul, sunt prezentate în aşa fel încât să faciliteze munca utilizatorului direct.

Sunt de semnalat, de asemenea, şi o serie de noutăţi absolute, cum ar fi:

- prezentarea lămpii cu inducţie (QL),
- aparatele şi echipamentele aferente controlului şi managementului energetic în iluminat,
- noul concept de proiectare al sistemelor de iluminat aferente spaţiilor comerciale, şi
- prezentarea programului specializat "CALCULUX" dimensionarea şi verificarea sistemelor de ilurninat.

Capitolul 1 este dedicat surselor de lumină şi prezentării acestora sub aspectul caracteristicilor specifice constructive şi de performanţă. Sunt, astfel, trecute în revistă: lampa incandescentă clasică, lampa incandescentă cu reflector încorporat, lampa incandescentă cu halogen, lampa fluorescentă tubulară, lampa fluorescentă compactă, lampa cu descărcări în vapori de mercur de înaltă presiune, lampa cu lumină mixtă, lampa de descărcări în vapori de mercur de înaltă presiune şi adaosuri de halogenuri metalice, lampa cu descărcări în vapori de sodiu de joasă presiune, lampa cu descărcări în vapori de sodiu de înaltă presiune obişnuită şi cu lumină albă, lampa cu inducţie.

Fiecare sursă este prezentată sub aspectul principiului de funcţionare, al gamei tipo-dimensionale, al caracteristicilor luminotehnice, bilanţului electroenergetic specific şi al schemei de legare la reţea.

Capitolul se încheie cu o prezentare comparativă a tipurilor de lămpi, extrem de sugestivă sub aspectul caracteristicilor tehnice generale.

În capitorul 2 sunt tratate aspectele specifice ale corpurilor de iluminat. Se porneşte de la cerinţele de bază, din punct de vedere electric, fizic, ale controlului distribuţiei spaţiale a fluxului luminos, ale protecţiei mecanice şi ale randamentului de transmitere a luminii de la surse către planul util.

Se face o prezentare generală a tipurilor constructive, ţinând seama de locul de utilizare şi de modul de montaj, precum şi o clasificare a acestora în funcţie de distribuţia spaţială a fluxului luminos, de gradul IP de protecţie şi al normelor de protecţie împotriva incendiilor.

ing. Cornel Sfetcu,
prof. dr. ing. Cornel Bianchi

(continuare în p. 19)

PROCEDURI DE SUPRAVEGHERE ŞI DIAGNOZĂ "ON LINE", GESTIUNE DE DATE ŞI MENTENANŢĂ PREDICTIVĂ LA GENERATOARELE ELECTRICE DE MARE PUTERE

dr.ing.Dan Zlatanovici *

În lucrare se prezintă un complex de proceduri şi algoritme de supraveghere şi diagnoză "on line", gestiune de date şi mentenanţă predictivă pentru generatoarele electrice şi instalaţiile auxiliare. Procedurile sunt în curs de implementare pe sistemele informatice realizate pentru turbogeneratoare de 60 MW şi 330 MW.

Nivelul de supraveghere a fost realizat prin afişarea pe un display a schemelor tehnologice şi a mărimilor de funcţionare şi de stare.

Nivelul de diagnoză a fost realizat prin urmărirea unor defecte tipice - funcţii de defect: scăpări de hidrogen, scurtcircuite în rotor, supraîncălzirea bobinajelor rotoric şi statoric, înfundarea conductoarelor elementare statorice, sarcina nesimetrică, defecte la perii-inele colectoare, diagrama PQ "on line". Criteriile de defect determină permanent starea de normalitate sau starea de defect a maşinii.

Nivelul de gestiune de date a fost realizat sub forma a trei formulare de arhivare: unul ţine evidenţa incidentelor survenite pe parcursul exploatării, altul acumulează şi prelucrează informaţii de tipul: energie, putere medie, număr de ore etc. şi al treilea gestionează rezultatele măsurătorilor efectuate cu diferite prilejuri.

Nivelul de mentenanţă predictivă a fost realizat pentru funcţiile de defect ale nivelului de diagnoză şi pentru funcţiile de mentenanţă propru-zise: durata de viaţă restantă a izolaţiei statorice, evoluţia stării miezului magnetic statoric, lista lucrărilor necesare la un generator şi ierarhizarea generatoarelor din centrală în vederea efectuării reviziilor.

În cadrul fiecărui criteriu de defect sau de mentenanţă s-au stabilit trei grade de decizie : I - menţinerea în exploatare până la prima oprire (revizie, reparaţie), II - decizia se ia către personalul de exploatare (menţinere cu supraveghere sau oprire), III - generatorul se opreşte imediat.

The authors present a complex of procedures and algorithms for on-line monitoring and diagnosis, data management and predictive maintenance for the electric generators and additional outfits. The procedures are ongoing to be implemented in the data processing systems meant for 60 MW and 330 MW generators.

The monitoring level was achieved by displaying of the technological diagrams and of the operation and status values.

The diagnosis level was achieved by monitoring some typical defects and defect functions: hydrogen escapes, rotor short-circuits, overheating of the rotor and stator coils, clogging of the stator elementary ducts, non-symmetric load, defects of the collecting brushes-rings, PQ on-line diagram.

The defect criteria continuously set the machine's defect or normal condition.

The data management level was carried out under three archiving forms: one for keeping records of the faults occurring in operation, a second for data acquisition and processing of the following type: energy, medium power, number of hours etc. and the third manages the results of different measurements.

The level of predictive maintenance was achieved for the defect functions of the level of diagnosis and for the maintenance functions: the stator insulation residual lifetime, the evolution of the stator magnetic core, the list with the necessary works to a generator and planning the generators in a plant for inspection.

Each criterion of defect or maintenance consists three decision levels: I- keeping under operation till the first shut down (inspection, repairing); II - the decision is made by the operation personnel (operation under control or shut down); III- the generator is immediately shut down.

* RENEL - Grupul de Studii, Cercetări şi Inginerie - GSCI, Bucureşti

Descriptori: diagnoză, inteligenţă artificială, generatoare electrice

Introducere

ICEMENERG a realizat un complex de tehnologii de supraveghere, diagnoză, gestiune de date şi predicţie on-line, pentru turbogeneratoarele de 60 MW şi 330 MW.

Trebuie subliniat că acest complex de tehnologii realizat în România conţine, pe lângă funcţiile clasice ale unui astfel de sistem, utilizate deja de firme de renume [1,2,3] şi o serie de funcţii în concepţie proprie.

S-a optat pentru utilizarea în principal a dotării standard cu traductoare de măsură, o suplimentare minimă cu traductoare noi şi o prelucrare matematică superioară a mărimilor. Se folosesc mărimi de intrare de tip "mărimi de funcţionare" (analogice şi binare), prelevate on-line şi mărimi de tip "informaţii" (texte) introduse off-line [4].

Complexul de tehnologii este organizat pe patru niveluri: supraveghere, diagnoză on-line, gestiune de date şi mentenanţă predictivă.

O parte din mărimile de funcţionare (brute şi/sau prelucrate) şi din rezultatele calculelor, după ce sunt utilizate în cadrul nivelurilor de supraveghere şi diagnoză, se memorează pe termen mediu (8 - 24 ore), după care sunt şterse. Cealaltă parte din mărimi şi rezultate de calcul se memorează definitiv şi intră în nivelul de gestiune.

2. Nivelul de diagnoză

Acest nivel a fost realizat prin urmărirea unor defecte tipice (funcţii de defect), pe baza unor algoritmi de calcul care au ca mărimi de intrare, mărimi de funcţionare prelevate on-line. Principalele funcţii de defect realizate sunt:

- apariţia scurtcircuitelor între spirele bobinajului rotoric;
- înfundarea conductoarelor elementare tubulare ale barelor bobinajului statoric;
- defecte la sistemul de perii-inele colectoare;
- supraîncălzirea bobinajului rotoric;
- supraîncălzirea barelor bobinajului statoric;
- depăşirea limitelor admisibile din diagrama "PQ on-line" a generatorului ;
- scăpări mărite de hidrogen din generator;
- funcţionarea cu sarcină nesimetrică.

Rezultatele de calcul sunt comparate cu valorile criteriilor de defect prestabilite şi se determină starea de normalitate sau starea de defect. Valorile criteriilor de defect sunt specifice fiecărui tip de generator şi sunt conforme cu instrucţiunile de exploatare şi/sau cu prescripţiile şi regulamentele RENEL de exploatare.

Starea de defect se declară cu un anumit grad de încredere, în funcţie de criteriile care sunt satisfăcute - fiecare criteriu de defect fiind ponderat de o fracţie de grad de încredere P_{gi}. În acest caz se afişează pe display o serie de mesaje pentru personalul de exploatare. Aceste mesaje sunt corelate cu gradul de încredere şi sunt în strictă concordanţă cu deciziile din cadrul nivelului de predicţie.

3. Nivelul de gestiune de date

Acest nivel are rolul de a ţine evidenţa arhivată a unui volum de informaţii utile pentru nivelul de mentenanţă predictivă. Nivelul de gestiune de date a fost realizat sub forma a trei formulare de arhivare.

3.1. Formularul nr. 1

Acest formular este destinat ţinerii evidenţei evenimentelor şi incidentelor survenite pe parcursul exploatării şi caracterizării acestora; formularul este organizat pe principiul listelor selective, în funcţie de tipul de echipament şi elementele componente (instalaţie, subansamblu, detaliu, zonă etc), pe tipuri de defecte şi categorii de cauze.

Astfel, formularul este constituit dintr-o succesiune de liste care conţin întrebări şi răspunsuri, care se aleg în funcţie de caracteristicile evenimentului produs.

Formularul se completează în două moduri: manual, în cazul declanşării blocului ca urmare a unui incident, şi automat, în cazul declarării stării de defect din cadrul nivelului de diagnoză.

În modul manual, formularul se iniţializează în momentul declanşării grupului, prin întrebarea "Tipul declanşării ?", care are două răspunsuri posibile: 1. "Incident" sau 2. "Voit". Dacă răspunsul este 1, şi respectiv "1.3.La generator", atunci începe derularea Formularului nr.1, în vederea completării, prin selectarea răspunsurilor adecvate.

Prima listă care apare conţine întrebările de bază sub forma a 14 rubrici notate cu litere de la A la N

Formularul nr. 1
A. Numărul generatorului din centrală
B. Numărul incidentului/generator
C. Data incidentului,număr ore de funcţionare
D.* Instalaţia, subansamblul, zona
E.* Tipul incidentului - defecţiuni posibile
F.* Prilejul incidentului
G.* Cauza incidentului
H. Durata incidentului
I. Parametrii de funcţionare înainte de incident
J. Protecţiile care au acţionat
K. Amploarea incidentului
L. Reparaţii, lucrări, manevre efectuate
M.* Locul efectuării reparaţiei
N. Durata reparaţiei

* Rubrici detaliate în anexă.

Procedura este următoarea: rubricile se apelează succesiv, iar răspunsurile se tastează sau se selectează dintre răspunsurile posibile .

Apelarea rubricilor A, B, C, I şi J va conduce la completarea automată a răspunsurilor la întrebările respective .

Apelarea rubricii D va duce la apariţia listei cu instalaţiille luate în consideraţie (stator, rotor, excitaţie sistem etanşare etc.); în continuare, selectarea unei poziţii din această listă, va duce la apariţia listei de subansambluri corespunzătoare (bobinaj, miez, cape etc.), din care se va selecta poziţia care interesează; aceasta va duce la apariţia listei cu detaliile specifice subansamblului respectiv (izolaţie, crestătură, pene etc). În continuare, la selectarea unui detaliu va apărea lista cu zonele (parte turbină, ieşire crestătură,zona frontală etc), iar apoi lista cu faza/polaritatea (dacă este cazul).

Rubrica următoare, E, conţine liste cu defecţiunile posibile pentru fiecare subansamblu şi respectiv detaliu. Listele acestei rubrici sunt selectate automat, în funcţie de opţiunile anterioare din rubrica D, urmând a se alege defecţiunea petrecută.

În continuare se vor apela în mod similar listele rubricilor următoare, din care se vor selecta răspunsurile corespunzătoare sau se vor tasta răspunsurile, după caz.

În modul automat, Formularul nr.1 primeşte informaţiile direct de la nivelul de diagnoză.Fiecare eveniment se va înregistra împreună cu eticheta EV, având semnificaţia de "eveniment evolutiv", şi cu gradul de încredere P_{gi} respectiv.

La rubrica L se vor înregistra măsurile recomandate în mesajele afişate pe display - dacă au fost executate.

În cazul funcţiilor de defect "scăpări de hidrogen" şi "sarcină nesimetrică" formularul se activează pentru selectarea unor răspunsuri pentru rubricile D şi respectiv E.

3.2. Formularul nr. 2

Formularul nr. 2, completat on-line, permite acumularea informaţiilor statistice şi se compleză automat de către calculator şi parţial (punctul 6) manual de la tastatură. Acest formular conţine următoarele mărimi statistice, cumulate pe fiecare lună şi an:

Formularul nr.2
1.Energie electrică produsă de generator[MWh]
2.Putere medie în funcţionare [MW]
3.Număr ore de funcţionare a generatorului [h]
4.Număr ore de staţionare în rezervă [h]
5.Număr ore de staţionare în reparaţie [h]
6.Număr ore de staţionare în reparaţie din cauza generatorului şi a instalaţiilor auxiliare [h]
7.Număr de opriri/porniri
8.Număr total de incidente
9.Număr de incidente defalcat pe:
9.1. Instalaţii,subansambluri, zone
9.2. Tipuri de incidente
9.3. Cauze
9.4. Evenimente evolutive

3.3. Formularul nr.3

Acest formular, completat off-line asigură gestionarea rezultatelor măsurătorilor efectuate cu diferite prilejuri şi este organizat pe subansambluri supuse probelor (conform rubricii D din formularul nr.1) şi tipuri de probe.

Formularul este şi el organizat pe rubrici şi anume:

Formularul nr.3
1.Instalaţia, subansamblul, zona supusă încercării
2.Tipul încercării/probei
3.Rezultatele încercării/probei

Astfel, selectarea unei instalaţii, subansamblu, zonă, din listele rubricii 1, identică cu rubrica D din Formularul nr.1, va duce la selectarea automată din rubrica 2 a listei de probe specifice instalaţiei, subansamblului, zonei respective, în conformitate cu "Codul RENEL de încercări pentru generatoare şi instalaţii auxiliare". Din această listă se selectează proba sau încercarea care s-a efectuat, ceea ce va duce la selectarea automată din rubrica 3 a unui protocol de probe similar cu un buletin de încercări specific tipului de probă selectă.

Rezultatele încercărilor se tastează în acest protocol de probe, care în plus va primi automat şi informaţii privind date de identificare a instalaţiei, subansamblului, zonei supuse probei, numărul de ore de funcţionare, tipul de probă, data efectuării probei etc.

4. Nivelul de predicţie

4.1. Predicţia operativă

Prin predicţia operativă a generatorului se urmăreşte recomandarea unor acţiuni ce trebuie luate în cazul apariţiei unui defect evolutiv la generator.

Predicţia operativă se face pentru defectele tipice, urmărite în cadrul nivelului de diagnoză on-line.

În cadrul fiecărui criteriu de defect al funcţiilor de defect, s-au stabilit trei grade de decizie:
- gradul I : menţinerea în exploatare până la prima oprire planificată;
- gradul II : decizia se ia de către personalul de exploatare (menţinere în exploatare, planificare, oprire apropiată sau oprire imediată);
- gradul III : generatorul se opreşte imediat şi se introduce în reparaţii.

Valorile criteriilor de defect sunt stabilite în raport cu aceste grade de decizie.

În aceste cazuri, pe display, peste imaginea curentă apare o fereastră cu mesaje care conţin indicaţii privind diverse măsuri ce trebuie luate, corespunzătoare gradului respectiv (verificări suplimentare, lucrări de remediere, restricţii de exploatare, oprirea generatorului).

4.2. Predicţia pe termen lung

Predicţia pe termen lung se bazează pe toate informaţiile acumulate în cadrul celorlalte niveluri. Aceste informaţii sunt prelucrate în cadrul următoarelor funcţii de mentenanţă:

4.2.1. Estimarea duratei de viaţă restantă pentru izolaţia bobinajului statoric .

Metoda se bazează pe o prelucrare matematică a rezultatelor măsurătorilor dielectrice: factorul de pierderi dielectrice şi capacitatea, efectuate periodic. S-a considerat o dependenţă exponenţială între durata de viaţă a izolaţiei respective (t) şi tensiunea probabilă de străpungere (U_{ps}) de tipul :

$$t = B\, e^{-n U_{ps}},$$

unde constantele B şi n se determină din două serii de măsurători.

Principial, valoarea U_{ps} este egală cu tensiunea în care funcţiile de variaţie ale mărimilor dielectrice cu tensiunea ating un punct limită comun, constanta specifică evoluţiei cu tensiunea a impedanţei.

Fenomenul a fost modelat analitic cu metoda celor mai mici pătrate, după o funcţie polinomială de gradul doi.

În final se determină tensiunea probabilă de străpungere în funcţionare U_{sf} şi o durată de viaţă restantă - până la străpungere, calculată din momentul ultimei măsurători - cu un anumit nivel de încredere în funcţie de numărul de măsurători.

Criterii de predicţie: durata de viaţă restantă a izolaţiei şi tensiunea probabilă de străpungere.

4.2.2. Evoluţia stării miezului magnetic statoric.

Metoda se bazează pe o acumulare statistică şi o prelucrare matematică adecvată a rezultatelor măsurătorilor periodice a stării fierului statoric cu metoda inducţiilor mici (0,06 - 0,1 T). S-a înlocuit metoda clasică de prelucrare prin "diferenţa fazelor" a mărimilor măsurate, cu metoda "înmulţirii". Astfel că "tensiunea de defect" este :

$$U_{def} = U_{ref} * U_{trad},$$

unde:

U_{ref} este tensiunea de referinţă, iar U_{trad} este tensiunea traductorului.

Se creează o hartă desfăşurată a pachetelor de tole pe care se înregistrează eventualele puncte de defect după cele trei poziţionări posibile: vârful dintelui (D), pereţii crestăturii (C), jugul statoric (J). În cadrul fiecărui punct de defect se urmăreşte evoluţia măsurată, în funcţie de timpul de funcţionare şi se estimează probabilistic evoluţia în timpul următor a defectului, cu un anumit grad de încredere - şi care este dependent de numărul de încercări.

Criterii de predicţie: numărul de defecte şi valoarea tensiunii de defect.

4.2.3. Estimarea duratei de viaţă restantă a liniei de arbori.

Metoda constă într-un algoritm de calcul care utilizează ca date de intrare numărul şi tipul scurtcircuitelor înregistrate în cadrul nivelurilor de diagnoză (funcţia "sarcină nesimetrică") şi gestiune (formularul nr.1).

Se iau în consideraţie scurtcircuitele mono- şi polifazate, la bornele generatorului sau pe linie, simple sau urmate de reanclanşare pe defect.

Algoritmul efectuează, după fiecare eveniment, calculul cuplurilor electromagnetice, al cuplurilor mecanice de torsiune şi al reducerii duratei de viaţă a liniei de arbori.

Calculul cuplului electromagnetic perturbator se face pe baza soluţiei Concordia a ecuaţiilor Park-Blondel, în funcţie de tipul scurtcircuitului [10].

Calculul cuplurilor mecanice de torsiune se face pe baza unui model cu n mase concentrate, ceea ce conduce la un sistem de ecuaţii diferenţiale de ordinul doi de tipul:

$$M_{oi} \frac{\partial^2 \varphi_i}{\partial t^2} - C_{i-1}\left(\varphi_{i-1} - \varphi_i\right) = 0,$$

unde M_{oi} este momentul de inerţie polară a maselor în rotaţie, φ_i este unghiul de torsiune, iar C_i este rigiditatea la torsiune.Ultima din cele n-1 ecuaţii conţine în plus cuplul electromagnetic perturbator M_{em}.

Estimarea efectelor produse de solicitările de torsiune în secţiunile respective [11] s-a făcut pe baza criteriului liniar de cumulare a microdeteriorărilor mecanice Palgren-Miner. Astfel, fracţia consumului din durata de viaţă, după evenimentul k este calculată cu relaţia:

$$D_k = \sum_j 2n_j \left(\frac{\sigma_{fj}}{4} \frac{\pi R_j^3}{C_j M_{oi}} \right)^{\varepsilon_i \delta_i}$$

unde n_j este numărul de cicluri la nivelul de solicitare j , la care a fost supusă secţiunea i de rază R_i şi având rezistenţă la rupere la solicitări ciclice σ_{fi} coeficientul de ecruisare ε_i şi coeficientul de ductilitate la oboseală δ_i.

Calculul se face considerând fiecare amplitudine a cuplului de torsiune din secţiunea respectivă, ca un ciclu unic de nivel j, măsurat faţă de axele de coordonate.

Mărimile de material σ_{fi} , ε_i şi δ_i s-au determinat experimental de către constructor.

Criteriul de predicţie: durata de viaţă restantă a liniei de arbori .

4.2.4. Ierarhizarea generatoarelor dintr-o centrală în vederea efectuării reviziilor şi reparaţiilor.

Algoritmul de calcul face o analiză de tip logic, pe o perioadă determinată de timp (cerută), a tuturor incidentelor, inclusiv a funcţiilor de defect din cadrul nivelului de diagnoză afectate de gradul II şi III de decizie. Fiecărui defect i se alocă un anumit punctaj, în funcţie de următoarele criterii:

- criteriul de gravitate (amploare), R_g : reparaţia se poate face fără demontare, cu demontare parţială şi cu dezasamblare totală;
- criteriul de de reparabilitate, R_r: reparaţia se poate executa local sau la fabricant, cu sau fără piese de schimb ;
- criteriul de risc de repetabilitate, R_f: defecte unice, defecte rare şi defecte dese;
- criteriul de stare tehnică a echipamentului, U_s: stare nouă,modernizat, nemodernizat.

În continuare se face o ierarhizare ponderată în funcţie de numărul de incidente, N_d , de suma punctajului respectiv, R_j pentru fiecare defect j şi de starea tehnică a generatorului respectiv, U_s .

Coeficientul de ierarhizare se calculează pentru fiecare generator k din centrală cu relaţiile:

$$R_j = R_g + R_r + R_f$$

$$S_k = aN_{dk} + b \sum_{j=1}^{Ndk} Rj + cU_{sk} ,$$

unde coeficienţii de pondere a,b şi c sunt stabiliţi în funcţie de puterea unitară a grupului, de tipul de combustibil (cărbuni, hidrocarburi), şi de nivelul de utilizare a grupului (vârf de sarcină, reglaj frecvenţă putere, reglaj secundar, bază).

Criteriul de predicţie: coeficientul de ierarhizare.

4.2.5. Evidenţierea lucrărilor de reparaţii necesare şi ierarhizarea urgenţei lor la un generator.

Un algoritm similar cu cel de mai sus face o analiză a defectelor evidenţiate de predicţia operativă, pe o perioadă determinată de timp (cerută), şi o ierarhizare ponderată a lucrărilor în funcţie de o matrice: defecte, punctaj, lucrări. Această funcţie operează şi cu o listă de lucrări (conform cu normativele RENEL de reparaţii) ataşată listei de defecte pe acelaşi principiu ca la formularele de gestiune. Punctajul pentru defecte este acelaşi ca la funcţia anterioară. Coeficientul de ierarhizare al lucrărilor se calculează pentru fiecare tip de defect, în funcţie de numărul acestora, N_d, punctajul defectului, respectiv R_j , acelaşi ca la funcţia anterioară şi un punctaj atribuit lucrărilor de reparaţii, T_j , necesare pentru defectul respectiv, cu relaţia:

$$S_j = a N_d + b R_j + c T_j ,$$

unde coeficienţii a,b şi c au aceeaşi semnificaţie ca în funcţia anterioară.

Trebuie menţionat că toate punctajele şi coeficientii utilizaţi la această funcţie, precum şi la cea anterioară sunt conţinuţi implicit în Formularul nr.1. Criteriul de predicţie: coeficient de ierarhizare.

Predicţia pe termen lung se afişează numai la cerere.

Imaginea curentă pe display este diagrama "PQ on-line" a generatorului cu marcarea punctului de funcţionare şi a principalilor parametrii funcţionali (fig.1).

Algoritmul calculează diagrama "PQ on-line" în funcţie de valorile momentane măsurate pentru: tensiunea la borne (U), frecvenţa (f), temperatura hidrogenului la intrare în generator (t_H), presiunea hidrogenului, puterea activă (P) şi reactivă (Q); de asemenea, algoritmul marchează punctul de funţionare (F) şi vectorii curentului statoric (I_s) şi de excitaţie (I_r).

În cazul generatoarelor răcite cu apă, dacă apare un proces de înfundare a conductoarelor elementare, în cadrul diagramei "PQ on-line" algoritmul va trasa o limită redusă a curentului statoric LRCS, pe baza curentului statoric maxim admisibil de funcţionare, determinat cu algoritmul corespunzător funcţiei respective din cadrul nivelului de diagnoză.

În figură, diagrama "PQ on-line" se prezintă în trei situaţii uzuale care pot apărea în exploatare : situaţia nominală (1) , tensiune scăzută (2) şi temperatura hidrogenului - la intrare în generator - crescută (3).

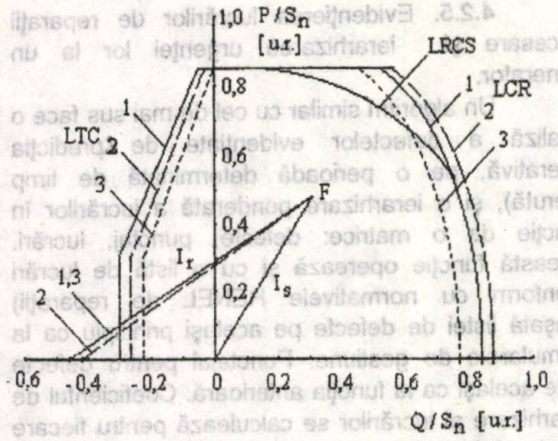


Fig.1. Diagrama PQ on-line a generatorului de 330 MW: 1 - U_n , f_n , t_{Hn} ; 2- 0,95 U_n , f_n , t_{Hn} ; 3 - U_n , f_n , 1,1 t_{Hn}; LTC- limita termică capacitivă; LCR - limita curentului rotoric; LRCS - limita redusă a curentului statoric; F - punctul curent de funcţionare; I_s - vectorul curentului statoric; I_r - vectorul curentului rotoric.

Concluzii

Complexul de tehnologii prezentat este în curs de implementare pe sisteme informatice corespunzătoare, la un generator de 330 MW (24 kV, 3000 rot/min, răcire: hidrogen, apă) şi la 6 generatoare de 60 MW (10,5 kV, 3000 rot/min, răcire: hidrogen).

Nivelurile de supraveghere şi diagnoză on-line funcţionează deja la patru generatoare, iar nivelurile de gestiune (formularul nr.1 şi nr.2) şi de predicţie operativă la două generatoare.

Experienţa utilizării până în prezent a complexului de tehnologii - chiar parţial pus în funcţiune - a dat satisfacţie beneficiarilor.

În continuare, complexul de tehnologii urmează să fie adaptat şi implementat la toate centralele electrice din România.

BIBLIOGRAFIE

[1] Scherer,H., Hajny, M. Provanzana, White, T. *Monitoring of large generators on the american electric power system.* CIGRE,1982, rep.11-01

[2] Gonzales, A.J., Osborne, R.L. *Un systeme expert pour le diagnostic en temps réel des turbo-alternateurs en service.* CIGRE, 1986, rap.11-07

[3] Liptak, G., Schuler, R.H. *Experience with diagnostic and monitoring methods on generator windings in relation to remaining service life.* CIGRE, 1992, rep.11-304

[4] Velicu, S., Zlatanovici, D. *Sistema nabliudenia i diagnostiki dlia moscinîh turbogheneratorov.* In: Sbornik VNII Electromas, 1994, pag 108-119 Skt. Petersburg

[5] Moraru, A. *Calculation of the Saturated Parameters and Operating Charactersitics of High-power Turbogenerators.* In: Rev. Roum. Sci. Techn. Electrot. et Energ., t. 25, No.1, p.47-65, Bucharest 1980

[6] Engster,F.,Zlatanovici,D. *Diagnostika statornoi obmotki lektriceskih masin v zavisimosti ot izoliaţii.* In: Sbornic VNII Electromas,1994, pag. 119- 138 Skt. Petersburg .

[7] Emshoff,H.W.,Krug,M. *Systeme informa-tisé de surveillance de l'échauffement de l'eau des barres statoriques en vue d'une détection précoce des surchauffes causées par des obstacles limitant la circulation de l'eau dans l'enroulement statorique.* CIGRE, 1986, rap.11-09

[8] Zlatanovici, D. *Solicitări magnetice şi termice în dintele frontal statoric al turbogeneratoarelor de 330 MW.* In: Energetica, 37, 4-5, 1989, pag.190-195,Romania

[9] Hlavac, J., Walter, J. *Surveillance des fuites d'hydrogene des grands turbo-alternateurs.* CIGRE, 1988, rap.11- 05

[10] Concordia, C. *Synchronous Machines. Theory and Performance.* John Wiley & Sons,1951, New York

[11] P.A.E. *Rusche Network Alternatives to reduce Turbine generator Shaft Stresses.* In: IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems" vol. PAS 98, No.2, 1979.

ANEXĂ

D.Instalaţia (zona) în care a apărut evenimentul
E.Tipul incidentului

Instalaţia	Subansamblul	Detaliul	Zona	Faza sau polaritatea	Incident/defect
0	1	2	3	4	5
1.Stator	1.Bobinaj	1.Izolaţie 2.Piese de consolidare 3.Tefloane 4.Teacă apă 5.Buşoane 6.Circuit hidraulic	1.Crestătură (nr.) 2.Ieşire crestatură 3.Frontală	Faza: R, S, T	1.Conturnare 2.Scurtcircuit -la masă -între 2 faze 3.Slăbire consolidare: -radială -tangenţială 4.Deteriorare mecanică 5.Depăşire temperaturi admise 6.Poluare cu ulei şi praf 7.Neetanşeităţi circuit apă 8.Infundare circuit hidraulic 9.Depăşire curent statoric

0	1	2	3	4	5
	2.Conexiuni la borne, izolator de porţelan	1.Conexiune 2.Izolaţie conexiune 3.Izolator 4.Cutie borne	1.Interior 2.Exterior	Faza: R, S, T	1.Slăbire consolidare 2.Conturnare izolator 3.Spargere izolator 4.Poluare cu ulei şi suspensii 5.Defect izolaţie
	3.Miez statoric	1.Crestătură 2.Dinte 3.Pachet de tole 4.Deget de presare 5.Inel de presare	1.Parte turbină 2.Parte inele 3.Mijloc 4.Interior 5.Exterior 6.Frontală 7.Pachet nr.	Faza: R, S, T	1.Deteriorare mecanică (teşituri) -obiect desprins din rotor -obiect uitat în stator -lovire cu rotorul 2.Caverne - efect termic 3.Incălziri locale 4.Slăbire presare miez 5.Vibraţia tolelor frontale 6.Depăşire limită termică capacitivă
	4.Carcasă, scuturi	1.Carcasă 2.Scuturi 3.Tălpi	1.Parte turbină 2.Parte inele 3.Interior 4.Exterior		1.Scăpări de hidrogen 2.Explozie de hidrogen 3.Deteriorare mecanică
	5.Borne, reductoare de curent, rezistenţă de nul	1.Borne, 2.Reductoare de curent, 3.Rezistenţă de nul	1.Izolaţie 2.Parte metalică 3.Conexiuni 4.Garnituri	Faza: R, S, T	1.Conturnare la masă 2.Scurtcircuit la masă 3.Deteriorare mecanică 5.Scăpări de hidrogen 6.Incendiu 7.Topire
	6.Lagăre, lagăre de etanşare	1.Corp 2.Cuzineţi 3.Peliculă de ulei 4.Inel de etanşare	1.Parte turbină 2.Parte inele 3.Superior 4.Inferior 5.Interior 6.Exterior		1.Vibraţii 2.Depăşire temperatură admisibilă 3.Defect izolaţie lagăr izolat 4.Ungere insuficientă 5.Slăbire stingeri 6.Caverne,ciupituri cuzinet 7.Topire cuzinet 8.Uzură mecanică 9.Scăpări de hidrogen
	7.Sistem portperii-perii	1.Suport 2.Portperii 3.Ventilator 4.Perii	1.Parte generator 2.Parte excitaţie	Polaritate -plus -minus	1.Uzură anormală perii 2.Punere la masă a suportului izolat 3.Răcire insuficientă 4.Defectare cordon perie 5.Joc perie în port perie 6.Scântei la contactul perie-inel
2.Rotor	1.Bobinaj	1.Semispiră 2.Izolaţie 3.Buloane 4.Conexiuni 5.Legături elastice 6.Inele 7.Infăşurare amortizare	1.Crestătură mare 2.Crestătură mică 3.Ieşire crestătură 4.Frontală 5.Fretare	Polaritate: -plus -minus	1.Scurtcircuit -la masă -între spire -între două bobine şi la masă 2.Atingeri galvanice între spire 3.Obturare orificii de ventilaţie 4.Deformare capete de bobine 5.Uzură mecanică 6.Depăşire temperatură admisibilă 7.Depăşire curent excitaţie maximă
	2.Miez	1.Fier rotoric 2.Pene	1.Dinte mare 2.Dinte mic 3.Fretare 4.Fusuri		1.Caverne/fisuri datorită punerilor la masă 2.Rizuri pe fusuri 3.Arsuri/perlări la contactul pene-fier sau fretaj capă 4.Scăpări de hidrogen la etanşare bulon 5.Bătăi,dezechilibre 6.Magnetizare fier 7.Rupere ax

0	1	2	3	4	5
	3.Cape	1.Capă 2.Inel de centrare	1.Fretare 2.Interior 3.Exterior		1.Tensofisurări în zona de fretaj 2.Caverne/fisuri datorită punerilor la masă 3.Arsuri/perlări la contactul fier-capă 4.Bătăi,dezechilibre 5.Rupere capă
3.Sistem excitaţie şi RAT	1.Alimentare forţă 2.Convertizor 3.RAT mare 4.RAT mic 5.Sistem urmărire 6.Contactor dezexcitare		Dulapul nr.		1.Avarie contactor dezexcitare 2.Deschidere sub sarcină a contactoarelor 3.Ardere trei siguranţe pe acelaşi braţ de punte redresoare 4.Defect alimentare forţă c.a. 5.Defect surse stabilizate de tensiune: - +/- 15 V c.c. - 220 c.c. - 220 c.a. - +/- 24 V c.c. 6.Defect circuit $U_{reactie}$ RAT 7.Defect circuit U-Sincro
4.Sistem răcire cu hidrogen	1.Uscător 2.Răcitoare 3.Dulap H_2-CO_2		Răcitor nr.		1.Puritate insuficientă 2.Umiditate crescută 3.Presiune scăzută 4.Tmperatura intrare ridicată 5.Spargere ţevi la răcitoare 6.Defect la uscător: - neetanşeitate sistem de încălzire ars
5.Sistem etanşare	1.Pompe alimentare 2.Pompă vid 3.Filtru 4.Regulator presiune 5.Colector CA 6.Colector CH 7.Rezervor epurare 8.Răcitor	Tip pompă: 1.principală 2.rezervă			1.Scăpări ulei în interior 2.Depăşire temperatura admisibilă 3.Presiunea diferenţială : -prea mare -prea mică 4.Defect pompe alimentare 5.Defect pompă de vid 6.Defecte la lagărele de etanşare: -jocuri mari -frecări mari 7.Defect răcitor ulei
6.Sistem răcire apă bare stator	1.Pompe alimentare 2.Rezervor 3.Răcitoare 4.Filtru ionic 5.Filtru celulozic	Tip pompă: 1.principală 2.rezervă	Răcitor nr.		1.Conductivitate scăzută 2.Defect pompe alimentare 3.Neetanşeităţi pe circuit 4.Cartuş celulozic necorespunzător 5.Defect filtru ionic 6.Defecte la răcitorii de apă

F. Prilejul incidentului

F1.În timpul funcţionării	F1.1.Funcţionare în sarcină F1.2.Funcţionare în gol excitat F1.3.Funcţionare în gol neexcitat F1.4.Funcţionare pe viror
F2.În timpul manevrelor de explcatare	F2.1.Pornire bloc F2.2.Oprire voită F3.3.Variaţie sarcină activă sau reactivă
F3-În timpul probelor	1F3.1.Probe de p.i.f. -Probe la generator nou -Probe după revizie -Probe după reparaţii -Probe după reabilitare F3.2.Probe profilactice F3.3.Probe de expertizare F3.4.Probe speciale
F4.În timpul reparaţiilor curente	F4.1.Cu instalaţia în funcţiune F4.2.Cu instalaţia oprită
F5-În timpul operaţiilor de întreţinere curentă	F5.1.Cu instalaţia în funcţiune F5.2.Cu instalaţia oprită

G.Cauza evenimentului

G1.Cauza directă a evenimentului	Se completează cu cuvinte prin tastare directă
G2.Categoria cauzei evenimentului	G2.1.Soluţie de proiectare necorespunzătoare G2.2.Fabricaţie necorespunzătoare G2.3.Material necorespunzător G2.4.Defect ascuns de material G2.5.Întreţinere necorespunzătoare G2.6.Exploatare necorespunzătoare G2.7.Uzură tehnică

M. Locul efectuării reparaţiei

M1-În centrală M2-La General Turbo M3-La ABB Energoreparaţii M4-La furnizorul străin

Referent : ing. Dan Mihăilescu - GSCI)

(Primit la 8 noiembrie 1995, acceptat la 21 ianuarie 1996

(continuare din p. 10)

Sunt, de asemenea, prezentate la finele capitolului , instituţiile şi organismele abilitate pe plan european şi/sau mondial să certifice caracteristicile şi calitatea echipamentelor.

Capitolele 3, 4 şi 5 sunt rezervate sistemelor de iluminat interior.

Obiectivele urmărite în concepţie (performanţa vizuală, confortul vizual şi eficienţa energetică) şi condiţiile cantitative şi calitative ale sistemelor de iluminat interior (niveluri de iluminare, distribuţia luminanţelor, controlul orbirii de incapacitate şi de inconfort, modelarea luminoasă, direcţionarea luminii, redarea culorilor şi culoarea aparentă) fac obiectul **capitolului 3.**

Capitolul 4 este rezervat proiectării sistemelor de iluminat interior sub totalitatea aspectelor ce presupun realizarea obiectivelor şi aparatelor luminotehnice menţionate în cadrul capitolului 3, fiind detaliaţi: factorii geometrici, estetici şi investiţionali, criteriile de alegere a surselor şi corpurilor de iluminat, controlul iluminatului, aspectele de integrare ale sistemelor de iluminat în arhitectura interioară, iluminatul de siguranţă şi/sau avarie, aspecte de întreţinere a sistemelor de iluminat, calculul teoretic de dimensionare şi verificare.

Capitorul 5 este rezervat aplicaţiilor din iluminatul interior şi detalierii cerinţelor specifice pentru fiecare caz în parte, fiind evidenţiate sistemele de iluminat caracteristice pentru: spaţii industriale, birouri şi spaţii administrative, instituţii de învăţământ, spaţii comerciale, muzee şi galerii de artă, hoteluri şi restaurante, instituţii spitaliceşti sau de sănătate, iluminat casnic şi iluminat artificial pentru sere.

Capitolele 6 şi 7 tratează iluminatul exterior. Pornind de la obiectivele de performanţă, sunt tratate sub aspectele fundamentale luminotehnice, al amplasării, al condiţiilor necesare de calitate a echipamentelor şi al întreţinerii acestora, sistemele de iluminat exterior urban pentru: iluminat stradal, iluminatul tunelurilor şi pasajelor rutiere, iluminatul zonelor rezidenţiale şi pietonale şi iluminatul arhitectural (decorativ) pentru clădiri şi monumente.

În cadrul **capitolelor 8 şi 9** sunt tratate, separat, sistemele de iluminat distinate arenelor şi spaţiilor sportive, interioare şi exterioare.

Capitolul 8 face enumerarea şi analiza cerinţelor de bază, a criteriilor şi a recomandărilor luminotehnice specifice, iar în **capitolul 9** se descrie procesul de proiectare, prezentând echipamentele adecvate, recomandările generale de amplasare şi calcul, aspecte legate de întreţinere şi criteriile de efort investiţional şi de optimizare a costurilor.

Manualul continuă cu un **glosar** explicativ al termenilor uzuali, în accepţiunea Comisiei Internaţionale de Iluminat.

Anexele din final, extrem de utile în activitatea de zi cu zi, prezintă principiile teoretice de bază în iluminat, programul de calcul "CALCULUX" pentru dimensionarea şi verificarea sistemelor de iluminat, precum şi o serie de tabele uzuale de lucru.

Indexul alfabetic care încheie practic lucrarea se constituie într-o facilitate suplimentară de utilizare rapidă a manualului.

Ca şi în cazul ediţiilor anterioare, echipa Centrului de Proiectare şi Aplicaţii în Iluminat (LiDAC) de la Eindhoven al companiei Philips a realizat un manual de referinţă, "up to date", un îndrumător de lucru de certă valoare practică.

Volumul foarte mare de date tehnice actuale, cuprins într-o singură publicaţie de dimensiuni reduse, transformă lucrarea într-un instrument puternic, devenind în scurt timp indispensabil, mai ales în condiţiile actuale în care viteza de lucru şi calitatea proiectării reprezintă din ce în ce mai mult un atu în activitatea de zi cu zi.

În încheiere vă semnalăm şi apariţia primei ediţii în limba română a **Catalogului cmpact de poduse pentru iluminat Philips.** Lucrarea este direcţionată mai mult către activitatea promoţională şi de informare imediată, gama tipo-dimensională a produselor prezentate conţinând o parte din cele 40 000 de repere aflate în nomenclatorul de fabricaţie al companiei.

P.S. Cei interesaţi pot consulta lucrarea la redacţia revistei ENERGETICA sau la biblioteca GSCI.

Pentru comenzi vă puteţi adresa la **PHILIPS LIGHTING.**
P.O. BOX 721,
5000 AS. EINDHOVEN
The NETHERLANDS

METODE DE DIAGNOZĂ A STĂRII IZOLAŢIILOR STATORICE A MAŞINILOR ELECTRICE

ing. FILIP ENGSTER *; ing. HORAŢIU SPÎNOCHE *; dr. ing. VLADIMIR BERZAN **

In lucrare se prezintă metodele moderne de diagnoză a statoarelor maşinilor electrice de mare putere: metode utilizate în alte ţări comparativ cu cele utilizate de ICEMENERG .

Se dau exemple de rezultate obţinute cu ajutorul metodelor de diagnoză elaborate de ICEMENERG.

In final se prezintă pe scurt preocupările actuale în domeniul metodelor de analiză a stării izolaţiilor statorice.

In the paper, the up-to-date methods for the diagnosis of high power electric machines stators: a comparison between the methods used abroad and the ones used in ICEMENERG are presented.

The authors give examples of results obtained by means of ICEMENERG's diagnosis methods.

Finally, up to day concernson in the analyzing methods of the stator insulation status are shortly presented.

Descriptori: diagnoză, izolaţie statorică, maşini electrice

Generalităţi

Fiecare sistem de izolaţie se caracterizează printr-un grad de neomogenitate care constituie cauza apariţiei unor defecte, consecinţa inevitabilă fiind degradarea, mai lentă sau mai rapidă a respectivei izolaţii electrice.

Aproximativ 30% din avariile care se produc la generatoare se datorează izolaţiei înfăşurării statorice.

Depistarea din timp a unor defecte de izolaţie în stare incipientă şi remedierea lor, va evita producerea unor avarii de amploare şi distrugeri mari de echipament.

Pe de altă parte, izolaţia îmbătrâneşte ca urmare a solicitărilor normale la care este supusă în timpul exploatării sau a unor solicitări suplimentare, dar greu de evidenţiat sau contorizat.

În acest caz este foarte utilă cunoaşterea gradului de îmbătrânire şi a duratei de viaţă rămase, pentru a se putea lua decizii privind reparaţiile sau chiar rebobinarea completă. Astfel, este imperios necesară elaborarea unor metode nedistructive de defectoscopie a defectelor incipiente în izolaţie.

* RENEL - Grupul de Studii, Cercetări şi Inginerie - GSCI, Bucureşti

** Institutul de Energetică al Academiei Republicii Moldova

Pe parcursul timpului, în diferite ţări, s-au elaborat mai multe metode pentru aprecierea stării unei izolaţii statorice. Cu toate acestea, normele naţionale şi internaţionale evită, în general, să impună valori limită pentru parametrii care caracterizează o izolaţie electrică. În general, normele internaţionale au un caracter de recomandare, iar cele naţionale se limitează la un număr relativ mic de parametrii care se bazează aproape în exclusivitate pe măsurarea în c.c. a curentului de fugă (rezistenţa de izolaţie, coeficient de absorbţie, indice de polarizaţie).

O gamă mai largă de criterii de apreciere este utilizată de constructorii de maşini electrice. Aceştia au norme interne (pe care le ţin de obicei secrete) pentru aprecierea calităţii izolaţiei electrice.

Pentru o sistematizare a criteriilor de apreciere este necesară o clasificare a acestora.

O primă clasificare poate fi făcută în funcţie de natura tensiunii care se utilizează la execuţia măsurătorilor, şi anume:

- măsurători în curent continuu;
- măsurători în curent alternativ.

Prin prelucrarea analitică a rezultatelor măsurătorilor periodice efectuate într-o perioadă mai mare de timp se pot trage concluzii pe baza cărora să se aprecieze nivelul de îmbătrânire.

Nivelul de încredere este cu atât mai mare cu cât numărul de seturi de măsurători este mai

mare într-un interval de zeci de mii de ore de funcţionare. Recomandabil este ca măsurătorile să se execute periodic, încă de la punerea în funcţiune a grupului.

Din acest punct de vedere se poate face o altă clasificare, în funcţie de natura informaţiilor obţinute:

- măsurători pentru aprecierea stării izolaţiei la un moment dat;
- măsurători pentru stabilirea evoluţiei în timp a îmbătrânirii izolaţiei.

De asemenea, măsurătorile pot fi executate în mai multe moduri:

- măsurători (off-line) cu tensiune aplicată;
- măsurători (on-line) executate în timpul funcţionării maşinii.

ICEMENERG a iniţiat, în anul 1976, un program de cercetare vizând urmărirea evoluţiei stării izolaţiei generatoarelor şi diagnosticarea ei pe baza măsurătorilor dielectrice nedistructive, profilactice.

În prezentul articol ne vom ocupa exclusiv de măsurătorile şi metodele utilizate de ICEMENERG, metode care nu sunt nominalizate în prescripţiile RENEL.

1. Măsurători în curent continuu

Uzual, măsurătorile care se execută în c.c. sunt:

- măsurarea rezistenţei de izolaţie;
- determinarea coeficientului de absorbţie;
- determinarea indicelui de polarizaţie.

Primii doi parametrii sunt nominalizaţi în prescripţiile RENEL (PE 116). Ultimul parametru este utilizat la noi în ţară numai pentru cabluri electrice. Indicele de polarizaţie este foarte utilizat în multe ţări şi la generatoare electrice.

Aceşti parametrii au un caracter orientativ, permiţând aprecierea stării unei izolaţii electrice în momentul execuţiei măsurătorilor.

Evoluţia într-o durată de timp scurtă (secunde-minute) a rezistenţei de izolaţie, respectiv a curentului de fugă, la execuţia unei aceleiaşi măsurători, dă indicaţii asupra nivelului de umiditate a izolaţiei electrice respective (coeficient de absorbţie, indice de polarizaţie).

Până în prezent nu au fost elaborate, pe bază de măsurători de rezistenţă de izolaţie, criterii de apreciere care să dea indicaţii asupra nivelului de îmbătrânire a izolaţiei electrice.

ICEMENERG execută măsurători în c.c. la 4-6 paliere de tensiune, pe fiecare palier măsurându-se curentul de fugă la trei timpi diferiţi (t_1, t_2, t_3), timpi care trebuie să satisfacă următoarea condiţie:

$$t_2 = at_1;\ t_3 = a^2 t_1 \qquad (1)$$

Pe baza acestora se calculează curentul de fugă stabilizat (I_f) şi timpul de stabilizare (t_s) [4].

$$t_s = \left(\frac{kU}{I_a}\right)^{\frac{1}{n}}, \qquad (2)$$

unde: I_a este curentul de absorbţie care pentru o aproximare mai bună se poate lua:

$$I_a = 0{,}1 I_f \cdot \qquad (3)$$

Constantele k şi U se pot calcula cu ajutorul relaţiei lui Curie, eventual printr-o aproximare statistică a măsurătorilor efectuată la mai multe paliere:

$$I_a(t) = kUt^{-n}, \qquad (4)$$

$$I_f = \frac{I_1 I_3 - I_2^2}{I_1 + I_3 - 2I_2}, \qquad (5)$$

unde: I_1, I_2 şi I_3 sunt curenţii măsuraţi la cei trei timpi menţionaţi anterior.

Valori mici ale celor doi parametrii indică o izolaţie cu calităţi bune, iar cu cât valorile sunt mai mari cu atât izolaţia este mai afectată.

Există şi metode pentru aprecierea nivelului de îmbătrânire care se bazează pe acest tip de măsurători, dar volumul mic de date acumulat până acum nu a permis aplicarea lor.

2. Măsurători în curent alternativ

În general, în curent alternativ se măsoară tangenta unghiului de pierderi (tgδ) şi diferiţi parametri ai descărcărilor parţiale (DP).

Pe baza măsurătorilor profilactice ale tgδ şi capacităţii Cx s-au elaborat opt criterii de apreciere, cu ajutorul cărora se poate aprecia gradul de îmbătrânire al unei izolaţii statorice.

2.1. Criterii de apreciere utilizate de ICEMENERG

Criteriile de apreciere utilizate de ICEMENERG sunt:

A. Creşterea valorii absolute a tgδ, măsurată la 0,6 U_n, faţă de valoarea măsurată anterior:

$$A_k = \frac{tg\,\delta_k - tg\,\delta_{k-1}}{tg\,\delta_{k-1}} \cdot 100(\%) \qquad (6)$$

B. Panta curbei tgδ = $f(U)$ - unghiul dintre asimptota la porţiunea crescătoare a curbei şi axa tensiunii, în condiţiile utilizării unui sistem unitar de scări; pentru tensiune: 1 cm = 0,1 U_n şi pentru tg δ: 1 cm = 1%.

C. Variaţia tg δ între 0,2 U_n şi 0,8 U_n

$$\Delta tg\delta = tg\,\delta_{0,8} - tg\,\delta_{0,2}\ (\%) \qquad (7)$$

D. Tensiunea de apariţie a pragului de ionizare - cotul ce apare în curba tgδ = $f(U)$; în cazul în care acesta nu este evident se ia în consideraţie intersecţia asimptotelor la cele două porţiuni ale curbei.

E. Creşterea valorii sarcinii aparente a descărcărilor parţiale măsurată la 0,6 U_n faţă de valoarea măsurată anterior:

$$E_k = \frac{Q_k}{Q_{k-1}} \cdot \qquad (8)$$

F. Variaţia capacităţii faţă de masă între 0,2 U_n şi 0,8 U_n raportată la capacitatea la 0,2 U_n

$$\frac{\Delta C_x}{C_x} = \frac{C_{x\,0,8} - C_{x\,0,2}}{C_{x\,0,2}} \cdot 100\ (\%) \cdot \qquad (9)$$

G. Indicele de îmbătrânire în timp după tgδ, egal cu raportul dintre creşterea valorilor tgδ între două măsurători succesive (Ak) şi numărul de ore de funcţionare (ΔDN).

$$C_k = \frac{A_k}{\Delta N} \cdot 10^3 . \qquad (10)$$

H. Indicele de îmbătrânire în timp după DP, egal cu raportul dintre creşterea valorilor sarcinii aparente a DP între două măsurători succesive (Ek) şi numărul de ore de funcţionare în acest interval de timp (ΔN):

$$H_k = \frac{E_k}{\Delta N} \cdot 10^4 . \qquad (11)$$

În principiu, criteriile de apreciere se referă la variaţia tgδ, forma şi panta curbei tgδ = $f(U)$, pragul de ionizare, variaţia descărcărilor parţiale (DP) şi corelaţia dintre variaţia tgδ şi DP şi numărul de ore de funcţionare între măsurători.

În funcţie de valorile pe care le iau criteriile de apreciere, starea izolaţiei înfăşurărilor statorice se poate încadra în unul din cele trei niveluri:

I - îmbătrânire lentă;

II - îmbătrânire accentuată;

III - îmbătrânire avansată, gravă.

În tabelele 1 şi 2 se prezintă valorile ce definesc gradul de îmbătrânire în cadrul criteriilor de apreciere.

Tabelul 1

Valoarea criteriilor de apreciere

Criterii / Grad de îmbătrânire	A_k	B	C	D	E_k	F	G_k	H_k
I	< 20%	$< L_p$	$< L_s$	$\geq 0{,}6U_n$	< 2	$< L_c$	< 3	< 3
II	20-50%	$\geq L_p$	$\geq L_s$	$(0{,}6\text{-}0{,}4)U_n$	2-4	$\geq L_c$	3-9	3-9
III	> 50%	$>> L_p$	$>> L_s$	$< 0{,}4U_n$	> 4	$>> L_c$	> 9	> 9

L_p, L_s şi L_c reprezintă limitele criteriilor B, C şi respectiv F, limite specificate în tabelul 2.

Tabelul 2

Valorile limită pentru diferite tipuri de izolaţie

Tipul izolaţiei	L_p	L_s	L_c
Termorigidă	15°	1%	2%
Termoplastică	40°	4%	5%

Pe plan internaţional este utilizat în general numai criteriul C. Unele firme mai folosesc şi criteriul F, dar variaţia capacităţii este calculată între 0,2 U_n şi 1,4 U_n. Din nefericire, prescripţiile RENEL nu permit execuţia de măsurători profilactice la o tensiune mai mare de 0,8 U_n , fapt ce face ca informaţiile obţinute să aibă un nivel de încredere limitat.

2.2. Determinarea duratei de viaţă disponibile

Pe baza experienţei acumulate, de curând, ICEMENERG a pus la punct o metodă cu care se poate determina rezerva duratei de viaţă disponibilă a izolaţiei.

Metoda permite, cu o probabilitate satisfăcătoare, aprecierea vitezei de îmbătrânire şi a momentului în care izolaţia analizată nu mai prezintă siguranţă în funcţionare.

Un rezultat secundar, dar important, obţinut cu ajutorul metodei propuse, este posibilitatea aprecierii eficienţei unei intervenţii (reparaţii) la o izolaţie electrică.

2.2.1. Principiul metodei

Metoda constă în stabilirea valorii tensiunii limită de străpungere a izolaţiei (U_{ps}) în condiţiile concrete în care s-au efectuat măsurătorile dielectrice (paliere de tensiune, durata menţinerii tensiunii pe paliere, viteza de creştere a tensiunii pe paliere, temperatura înfăşurării statorice, condiţii de mediu ambiant etc.).

Valoarea U_{ps} se determină pe baza evoluţiei cu tensiunea a unui indice de îmbătrânire.

Pentru simplificare s-a ales ca indice de îmbătrânire impedanţa înfăşurării statorice (Z) şi variaţia acesteia cu tensiunea.

Calculul lui U_{ps} a fost făcut analitic, modelând fenomenul prin metoda celor mai mici pătrate, după o funcţie polinomială de gradul doi.

Algoritmul de calcul este următorul:

$$Z = \frac{tg\,\delta}{C} \qquad (12)$$

$$Z = Z_o - K \cdot U^2, \qquad (13)$$

unde:

Z_o - valoarea inițială a impedanței înfășurării, dependența de condițiile concrete de execuție a măsurătorilor;

K - constanta specifică evoluției cu tensiunea a impedanței.

$$Zo = \frac{\sum U^2 \cdot Z \cdot \sum U^2 - \sum U^4 \cdot \sum Z}{(\sum U^2)^2 - m \cdot \sum U^4} \qquad (14)$$

$$K = \frac{\sum U^2 \cdot \sum Z - m \cdot \sum U^2 \cdot Z}{(\sum U^2)^2 - m \cdot \sum U^4} \qquad (15)$$

Coeficientul de corelatie este dat de relația:

$$r = \frac{m \sum U^2 Z - U^2 \sum Z}{\sqrt{\left[m \sum U^4 - (\sum U^2)^2\right] \left[m \sum Z^2 - (\sum Z^2)^2\right]}}$$

Tensiunea probabilă de străpungere este:

$$U_{ps} = \frac{Z_o}{K} . \qquad (17)$$

Se consideră o dependență exponențială între durata de viață (t) și tensiunea de străpungere (U_{ps}):

$$t = B \cdot e^{-n \cdot U_{ps}} . \qquad (18)$$

În mod normal, pentru determinarea constantelor n și B sunt suficiente două măsurători efectuate la un interval de timp prestabilit.

Durata de viață disponibilă (t_d) rezultă din diferența dintre numărul de ore de funcționare (Nf) la data execuției măsurătorilor și numărul de ore de funcționare (Np) la care tensiunea probabilă de străpungere va fi egală cu tensiunea de lucru a izolației statorice:

$$t_d = Nf - Np.$$

Tensiunea limită de siguranță a fost calculată conform normativelor în vigoare:

$$U_{la} = 0{,}65 \cdot (2 \cdot U_n + 1\ \text{kV}).$$

2.2.2. Raportarea măsurătorilor la o temperatură de referință

O deficiență majoră a metodei de apreciere a duratei de viață disponibilă prezentată anterior este generată de faptul că practic este imposibil să se execute, în centralele electrice, măsurători periodice în aceleași condiții, în special la aceeași temperatură a înfășurării statorice și în aceleași condiții de mediu.

Gama de temperaturi la care se execută efectiv măsurătorile este de circa 50°C, fiind cuprinsă între 15°C și 70°C.

Compararea mărimilor măsurate periodic, la intervale de timp de ordinul miilor de ore de funcționare, la temperaturi diferite, conduce la concluzii eronate.

Pentru eliminarea acestei deficiențe, în ICEMENERG s-a executat lucrarea *Metodă și aparat pentru măsurarea descărcărilor parțiale în vedere aprecierii nivelului de îmbătrânire a izolațiilor statorice a generatoarelor electrice,* autori F. Engster, H. Spînoche, V. Berzan, A. Bîrlădeanu, M. Târsu (susținută la masa rotundă cu tema „Diagnoza on-line a mașinilor electrice", Rusia, St Petersburg, iunie 1995), rezultatele obținute permițând raportarea valorilor măsurate în decursul timpului, la diferite temperaturi, la o temperatură de referință (20°C). Principalele concluzii ale acestei lucrări de cercetare sunt:

- în gama de temperatură în limitele căreia se execută uzual măsurătorile profilactice, curbele de variație ale tgδ cu temperatura pot fi aproximate prin linii drepte;
- indicele minim de corelație este de 0,96, deci aproximația variației tgδ cu temperatura cu o variație liniară induce o eroare de maximum 4%.

Aceste concluzii împreună cu observația că panta dreptei de variație nu se modifică semnificativ cu îmbătrânirea (degradarea) izolației electrice, constituie ipotezele metodei analitice de raportare a măsurătorilor la o temperatură de referință.

Considerând ecuația de variație a parametrului dielectric raportat cu temperatura:

$$y_o = a_o + b_o \cdot x_o . \qquad (21)$$

Principiul metodei constă în următoarele etape:

1. Determinarea pantei dreptei de variație cu temperatura (b).

Aceasta se poate determina în mai multe moduri. Ideal ar fi ca aceasta să se facă la PIF sau în fabrică, executându-se măsurători dielectrice la diferite paliere de tensiune.

Deoarece este dificil să se execute măsurători de acest gen, panta dreptei se poate determina prin prelucrări statistice, luând în considerare fie numai primele două măsurători, executate la temperaturi diferite, fie toate măsurătorile executate la diferite intervale de timp la același generator electric.

2. Considerând panta (b) nemodificată, se determină intersecția cu axa ordonatelor (a_k) a dreptei pentru noua stare a izolației de la data la

care s-au executat măsurători ale parametrilor dielectrici (y_k) la temperatura respectivă (x_k):

$$y_k = a_k + b_o \cdot x_k . \quad (22)$$

3. Dreapta de variaţie, la temperatura la care se doreşte să se facă raportarea, la data la care s-au executat măsurătorile, va avea coeficienţii:

$$y_{kr} = a_k + b_o \; x_r . \quad (23)$$

4. Relaţia finală pentru determinarea valorii raportate a parametrului dielectric este:

$$y_{kr} = y_k + (x_r - x_k) \; b_o . \quad (24)$$

În figurile 1 şi 2 sunt trasate curbele de durată de viaţă pentru hidrogeneratorul 6 de la CHE Porţile de Fier . Se observă o disponibilitate de aproximativ 50 000 ore de funcţionare, dacă se iau în considerare valorile măsurătorilor executate la diferite temperaturi ale înfăşurării statorice (fig.1), şi o disponibilitate de circa 40 000 ore de funcţionare, dacă aceste valori se raportează la una şi aceeaşi valoare a temperaturii (fig.2).

În cadrul Laboratorului de Maşini Rotative, în urmă cu trei ani s-a elaborat o strategie care să permită alinierea măsurătorilor efectuate şi a interpretării rezultatelor la cerinţele ştiinţifice actuale.

Pentru aceasta s-a conceput şi realizat (deocamdată în fază experimentală) un analizor de descărcări parţiale (ADP), care să permită măsurarea mai multor parametri ai DP.

Aparatul a fost conceput în această primă fază pentru măsurarea on-line a DP, dar el poate fi utilizat la măsurarea descărcărilor parţiale oriunde ar apărea ele, cu condiţia utilizării unei metode de captare corecte.

În figura 3 este schiţată partea frontală a ADP.

Aparatul este construit pe principiul sertarelor.

Analizorul de descărcări parţiale are următoarele funcţii:

- sincronizarea cu reţeaua de 50 Hz;
- posibilitatea obţinerii unei porţi de timp de

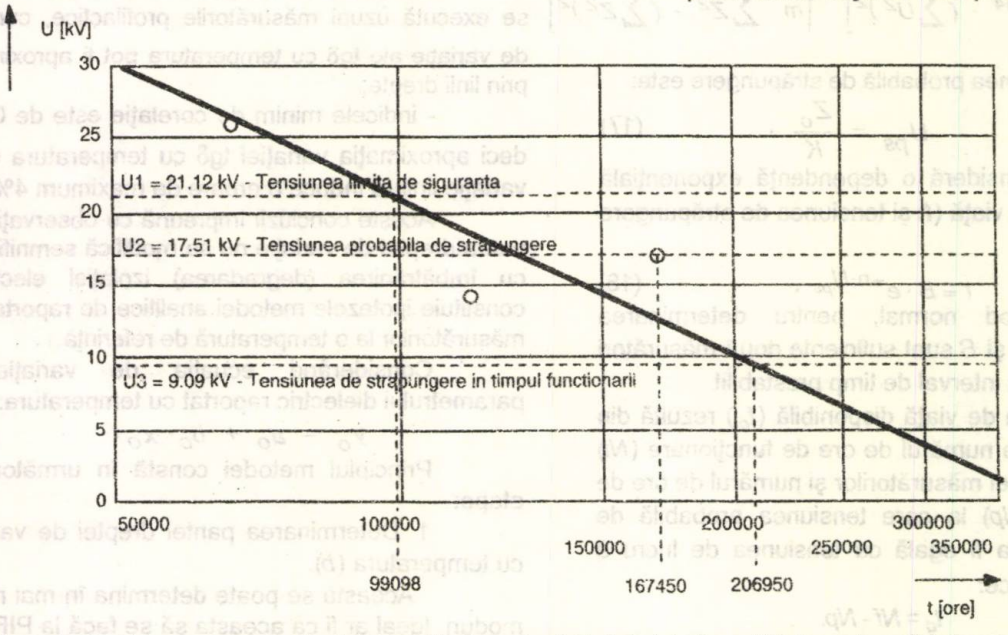


Fig.1. Curba de aproximare a duratei de viaţă rămasă a izolaţiei statorice a HG 6 pentru mărimi necorectate.

2.3. Aprecierea stării izolaţiei cu ajutorul descărcărilor parţiale (DP)

O importanţă tot mai mare a căpătat-o în ultimul timp aprecierea stării unei izolaţii pe baza măsurării descărcărilor parţiale, urmărindu-se chiar o standardizare a unor criterii de apreciere. Trebuie remarcat faptul că în unele ţări se măsoară perturbaţiile radio produse de DP, iar în altele se măsoară diferiţi parametrii ai DP.

durată reglabilă, având şi momentul declanşării reglabil, în această poartă realizându-se măsurarea parametrilor DP;

- generarea impulsurilor de început şi de sfârşit ale porţii de timp;
- selectarea, prin intermediul combinaţiei celor două filtre înseriate (FTJ şi FTS), a domeniului de frecvenţă în care valoarea semnalului de DP prezintă cea mai mare pondere ca amplitudine a sarcinii impulsului şi ca sarcină însumată;
- calculul valorii sarcinii impulsului;

- calculul valorii sarcinii însumate a impulsurilor de DP;

- selectarea şi numărarea impulsurilor de DP în funcţie de amplitudine.

Cu ajutorul numărătorului de impulsuri se poate determina repartiţia impulsurilor în funcţie de amplitudinea lor.

Curentul mediu al DP corespunde sarcinii

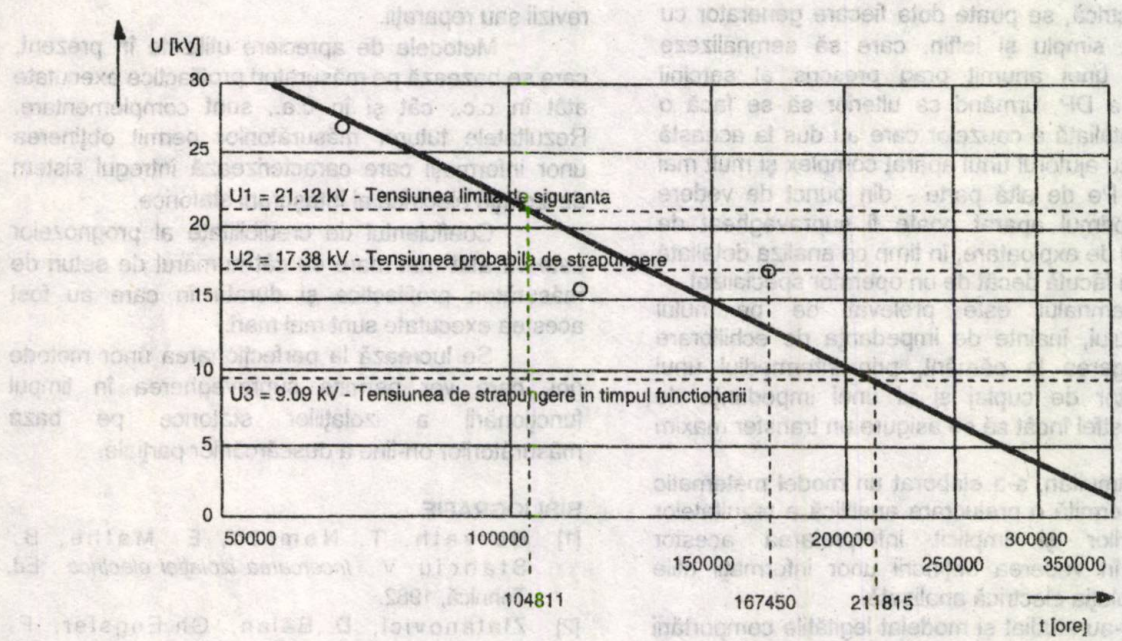


Fig.2. Curba de aproximare a duratei de viaţă rămasă a izolaţiei statorice a GG 6 pentru mărimi corectate.

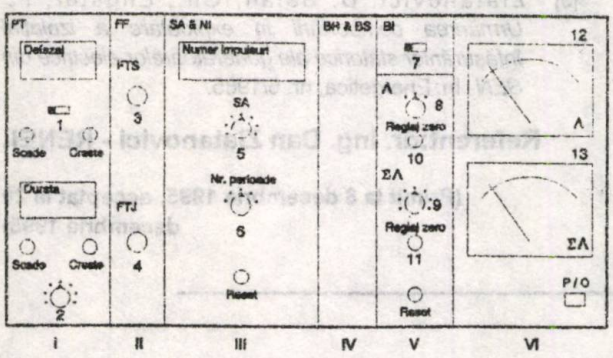


Fig.3. Partea frontală a analizatorului de descărcări parţiale (ADP).

Aparatul permite măsurarea celui mai mare impuls de DP (sarcină de impuls) şi a sumei unui şir de impulsuri de DP (sarcina însumată) într-un anumit interval de timp ales.

Cu aceste mărimi pot fi evaluate:

- sarcina aparentă;
- curentul mediu de DP;
- energia medie a DP;
- randamentul mediu al DP.

Semnalul de DP poate trece (în funcţie de opţiune) printr-un filtru de frecvenţă FF, compus din două filtre înseriate (FTJ şi FTS), cu ajutorul cărora se face o selecţie a benzii de frecvenţă a semnalului de intrare.

Cu ajutorul FF se pot determina maximele spectrului de energie a DP în funcţie de timp şi se poate urmări devierea lor.

În funcţie de banda de frecvenţă a semnalului obţinut, a amplitudinii, a numărului de impulsuri ce depăşesc o anumită amplitudine şi a celorlalte mărimi măsurate sau calculate se poate aprecia natura unui eventual defect.

2.3.1. Principiul metodei

Varianta de detectare şi analiză a DP implică două etape, şi anume:

1 - detectarea depăşirii unui anumit nivel al DP cu un aparat simplu şi uşor de supravegheat şi manipulat (cu ajutorul unui detector de descărcări parţiale - DDP);

2 - analiza detaliată a DP cu un analizor complex (ADP), operatorul trebuind să aibă o anumită specializare.

Această etapizare a fost considerată necesară, atât din punct de vedere economic, cât şi din punct de vedere tehnic. Într-o hidrocentrală (sau filială) electrică, se poate dota fiecare generator cu un aparat simplu şi ieftin, care să semnalizeze depăşirea unui anumit prag prescris al sarcinii însumate a DP, urmând ca ulterior să se facă o analiză detaliată a cauzelor care au dus la această depăşire cu ajutorul unui aparat complex şi mult mai costisitor. Pe de altă parte - din punct de vedere tehnic - primul aparat poate fi supravegheat de personalul de exploatare, în timp ce analiza detaliată nu poate fi făcută decât de un operator specializat.

Semnalul este prelevat de pe nulul generatorului, înainte de impedanţa de echilibrare pentru legarea la pământ, prin intermediul unui condensator de cuplaj şi al unei impedanţe de măsură, astfel încât să se asigure un transfer maxim de putere.

Simultan, s-a elaborat un model matematic care să permită o prelucrare analitică a rezultatelor măsurătorilor şi implicit interpretarea acestor rezultate în vederea obţinerii unor informaţii utile despre izolaţia electrică analizată.

S-au studiat şi modelat legităţile comportării spectrului de putere (energie) al DP în raport cu parametrii izolaţiei electrice. Aceasta va permite aprecierea mai corectă, pe de o parte, a metodelor de măsurare a DP şi, pe de altă parte, a stării tehnice a izolaţiei analizate.

Parametrii DP luaţi în considerare sunt: numărul, durata, amplitudinea şi perioada de apariţie.

Studiul spectrului puteri DP are la bază modelul poliarmonic: transformata Fourier a unei funcţii $x(t)$ care poate avea mai multe componente.

Concluzii

ICEMENERG dispune de un complex de metode de apreciere a stării izolaţiilor statorice a generatoarelor electrice. Pe baza acestora se pot face recomandări pentru execuţia anumitor lucrări de revizii sau reparaţii.

Metodele de apreciere utilizate în prezent, care se bazează pe măsurători profilactice executate atât în c.c., cât şi în c.a., sunt complementare. Rezultatele tuturor măsurătorilor permit obţinerea unor informaţii care caracterizează întregul sistem de izolaţie electrică al înfăşurării statorice.

Coeficientul de credibilitate al prognozelor este cu atât mai mare cu cât numărul de seturi de măsurători profilactice şi durata în care au fost acestea executate sunt mai mari.

Se lucrează la perfecţionarea unor metode noi, care vor permite supravegherea în timpul funcţionării a izolaţiilor statorice pe baza măsurătorilor on-line a descărcărilor parţiale.

BIBLIOGRAFIE

[1] Horvath, T. Nemeth, E. Mathe, B. Stanciu V. *Incercarea izolaţiei electrice* . Ed. Tehnică, 1982.

[2] Zlatanovici, D.,Bălan, Gh.Engster, F. *Determinarea stării izolaţiei înfăşurărilor statorice ale generatoarelor electrice prin măsurători profilactice* . In: Energetica, nr. 8/1984.

[3] Zlatanovici, D. Balan, Gh., Engster, F. *Urmărirea comportării în exploatare a izolaţiei înfăşurărilor statorice ale generatoarelor electrice din SEN* . In: Energetica, nr. 6/1985.

Referent:dr. ing. Dan Zlatanovici - RENEL

(Primit la 8 decembrie 1995, acceptat la 20 decembrie 1995)

Informaţii

În ziua de 29 noiembrie 1995, a avut loc la Câmpina o masă rotundă cu tema **Probleme actuale privind calitatea energiei electrice**, organizată de Grupul de Transport şi Distribuţie a Energiei Electrice - GTDEE împreună cu FRE Ploieşti.

La manifestare au participat specialişti reprezentând Academia Română, universităţile tehnice, GTDEE, ISPE, GSCI, filialele de reţele electrice şi TELECOMM SRL.

Amănunte în legătură cu această manifestare se găsesc în revista *Producerea, distribuţia şi transportul energiei electrice,* nr. 1/1996, editată de GSCI - CIDE.

CONCEPŢIA G.T.D.E.E. PRIVIND TRECEREA DE LA MENTENANŢA PREVENTIVĂ LA CEA BAZATĂ PE FIABILITATE

ing. ION CONECINI; ing. CORNELIU PÂSLARU; ing. RADU CONSTANTIN *

Lucrarea tratează concepţia GTDEE privind executarea lucrărilor de mentenanţă; plecând de la mentenanţele reactivă, preventivă şi predictivă analizează avantajele şi dezavantajele etapelor efectuate în cadrul GTDEE şi stabileşte, ca ultim concept de perspectivă, mentenanţa bazată pe fiabilitate.

The authors present the Romanian Energy Transmission and Distribution Group point of view on carrying out the maintenance works, making an analysis of benefits and disadvantages caused by the stages already performed within Group' Starting from the reactive, preventive and predictive maintenance works they define the maintenance based on reliability to be the last concept in prospect.

Descriptori: mentenanţă, fiabilitate

Generalităţi

Pe lângă activităţile din domeniul strategiei dezvoltării şi retehnologizării instalaţiilor de transport şi distribuţie, stabilirea unei concepţii privind mentenanţa acestor instalaţii a constituit, şi constituie, o preocupare permanentă pentru speciaţiştii din cadrul G.T.D.E.E. Această prioritate în activitatea G.T.D.E.E. rezultă din faptul că aceste instalaţii sunt o componentă importantă a sistemului energetic naţional şi majoritatea au înglobate tehnologii la nivelul anilor 1963 - 1970.

Pentru realizarea obiectivului de a transporta şi distribui energie electrică la un cost cât mai redus, pe lângă introducerea unor echipamente primare şi secundare performante, trebuie îmbunătăţită activitatea de exploatare şi întreţinere a tuturor categoriilor de instalaţii. Astfel de acţiuni trebuie să aibă drept rezultat final o creştere a indicatorului de continuitate în alimentare şi îmbunătăţire a criteriilor de performanţă a instalaţiilor electrice.

Pe parcursul dezvoltării sistemului energetic naţional s-a trecut de la mentenanţa preventivă, considerată neproductivă şi scumpă, la cea predictivă, corectivă, iar în perspectivă se tinde spre mentenanţa proactivă.

Pentru aceasta a fost necesară stabilirea unei concepţii moderne pe baza căreia s-au putut adopta măsurile şi tehnologiile de fiabilizare a instalaţiilor şi s-au pus bazele fundamentării şi optimizării programelor de întreţinere şi modernizare a acestora. În cadrul acestei concepţii s-au urmărit:

- o bună diagnosticare a defectelor, cunoaşterea originii cauzelor, modurilor de manifestare şi efectelor acestora;
- cunoaşterea operaţiilor de întreţinere, reparaţii, modernizări şi a eficienţei şi costului acestora.

1. Acţiuni privind mentenanţa reactivă şi preventivă a instalaţiilor electrice

După cum este bine cunoscut *mentenanţa* reprezintă ansamblul tuturor acţiunilor tehnice şi organizatorice asociate, efectuate în scopul menţinerii sau restabilirii funcţionării unui element, dispozitiv, instalaţie, în starea pentru care a fost conceput.

Din statisticile unor ţări cu sisteme energetice dezvoltate (Franţa, Germania şi Anglia)

* RENEL - Grupul de Transport şi Distribuţie a Energiei Electrice - GTDEE, Bucureşti

rezultă că activitatea de mentenanţă a trebuit perfecţionată, deoarece costurile acesteia reprezintă, la nivelul anilor 1993 - 1994, circa1 -1,5 % din totalul costurilor de producţie, în timp ce în multe ţări din Est acestea reprezintă circa 5÷20 %.

În ţara noastră, până-n anii 1975 s-a aplicat o *mentenanţă reactivă,* care permitea prevenirea unor evenimente similare (după manifestarea acestora ca incident, deranjament sau avarie), ca urmare a analizei cauzelor care conduseseră la evenimentul respectiv. Această practică, pe lângă faptul că era deosebit de costisitoare era şi ineficientă. După anii 1970 s-a trecut la *mentenanţa preventivă* (profilactică), efectuată la intervale predeterminate sau după criterii prescrise şi distinată reducerii probabilităţii de defectare sau degradării funcţionării unui element, dispozitiv sau instalaţie.

În cadrul G.T.D.E.E. mentenanţa preventivă a avut la bază în principal aplicarea normativului privind profilaxia instalaţiilor (PE 116), normativul privind repararea instalaţiilor energetice (PE 016) şi instrucţiunile privind planificarea, programarea şi urmărirea lucrărilor de exploatare şi întreţinere, aprobate prin ordinul 607/1984 al M.E.E.

Abordarea preventivă a mentenanţei a fost posibilă prin utilizarea tehnicilor de calcul, ceea ce a permis realizarea unor programe de tip PROFILAX, care au permis o urmărire a parametrilor de izolaţie şi o verificare a respectării corecte a periodicităţilor la care trebuiau executate reviziile tehnice, reparaţiile curente şi capitale şi încercările şi măsurătorile profilactice, în mod deosebit pentru echipamentul primar.

O deficienţă manifestată în aplicarea acestui mod de urmărire în ţara noastră, a fost faptul cu nu a existat o metodologie pentru evidenţierea duratelor operaţiilor de mentenanţă şi costurilor acestora.

Aplicarea mentenanţei preventive, pe lângă deficienţele arătate, implică atât riscul supramentenanţei, cât şi cel al submentenanţei, deoarece componentele instalaţiilor prezintă rate de defectare diferite.

Deficienţele arătate duc la schimbarea concepţiei privind mentenanţa, rezultând ca o necesitate trecerea de la conceptul bazat pe intervale de timp (de regulă ani) la cel bazat pe stabilirea (măsurarea) stării echipamentului care presupune aplicarea mentenanţei predictive.

2. Concepte de mentenanţă: predictivă, proactivă şi bazată pe fiabilitate

În ţările avansate din punct de vedere energetic (Anglia, SUA, Japonia, Franţa, Germania etc.), începând cu anii 1980, datorită tehnologiilor avansate aplicate în domeniul energetic, au fost puse la dispoziţia personalului care execută operaţii de mentenanţă, aparate şi proceduri capabile să identifice defecţiunile în fază incipientă de dezvoltare, prin diagnosticarea stării echipamentului şi prevederea operaţiilor de mentenanţă necesare, conducând la aplicarea *mentenanţei predictive.*

Cu ajutorul tehnicilor de calcul, bazat pe aparate şi proceduri specifice, sunt scoase în evidenţă componentele care pot ceda înaintea unei intervenţii majore (revizie tehnică sau reparaţie curentă). Când rezultatele investigaţiei predictive arată că echipamentul prezintă o stare de funcţionare bună, revizia sau reparaţia poate fi amânată. Din datele statistice ale unor ţări ca: Anglia, SUA, Canada şi Japonia rezultă că aplicarea mentenanţei predictive reduce costurile de mentenanţă cu circa 30 % faţă de cea preventivă, reducând numărul şi durata întreruperilor, precum şi numărul orelor afectate mentenanţei.

Dintre parametrii care avertizează înrăutăţirea stării tehnice a instalaţiilor sunt: starea izolaţiei, temperatura, zgomotul, vibraţiile, deformările mecanice etc.

Identificarea acestor parametrii se realizează prin tehnici de monitorizare sau de determinare a stării elementului, cu mare putere de rezoluţie, cum ar fi: termografia, pirometria, ultrasunetele, analiza impulsului în frecvenţe, cromatografierea uleiului electroizolant etc.

În cadrul G.T.D.E.E., începând cu anul 1994 a început experimentarea şi/sau implementarea unor tehnici care vor permite în perspectivă implementarea mentenanţei predictive, cum ar fi aplicarea instalaţiilor de termografiere tip INFRAMETRIX-SUA, a instalaţiilor cu ultrasunete tip ULTRAPROBE-SUA, cromatografelor tip SIEMENS, pirometrie şi urmărirea "on-line" a stării izolaţiei la două transformatoare de 250 MVA 400/110 kV.

Considerăm că trecerea la acest tip de mentenanţă nu va conduce la rezultatele obţinute în ţările din vest, deoarece majoritatea echipamentului şi aparatajului din instalaţiile G.T.D.E.E. au licenţe şi tehnologii la nivelul anilor

1965 - 1970, care presupune un volum mare de mentenanţă.

Acest lucru este reliefat şi de indicatorii medii specifici de deteriorare obţinuţi în anii 1993 şi 1994, ca de exemplu: LEA-IT 0,96; 0,73 inc/100 km; LEA-MT 6,38 ; 6,55 inc/100 km, LES - JT 0,76; 2,85 inc/100 km, LES-MT 17,86; 19,86 inc/100 km, PT + PA 1,93; 1,80 inc/100 buc. staţii 1,02; 0,87 inc/buc.

Plecând de la faptul că instalaţiile energetice ale viitorului trebuie să se caracterizeze prin: fiabilitate crescută; disponibilitate şi securitate, după anii 1990, în unele ţări din Vest, s-a promovat *mentenanţa proactivă* (corectivă), care constituie o abordare avansată a mentenanţei predictive.

Mentenanţa proactivă are la bază conlucrarea între cel care exploatează aparatul (echipamentul) şi cel care l-a conceput şi l-a proiectat. Pe baza informaţiilor primite în procesul de producţie, montaj şi exploatare se corectează concepţia care a stat la baza produsului respectiv, se intensifică şi se amplifică testele pentru anumite elemente componente, astfel încât din faza iniţială să se depisteze eventualele defecţiuni.

Defecţiunile cu caracter repetitor sunt modificate prin schimbarea parametrilor proiectaţi şi a condiţiilor de utilizare, prin aplicarea metodei spiralei, în domeniul calităţii produsului respectiv.

Analiza cauzelor evenimentelor se bazează pe un set de proceduri analitice şi inginereşti care permit identificarea şi corectarea fenomenelor incipiente evolutive, care pot duce la incidente şi deranjamente.

În prezent pe plan mondial, în unele ţări dezvoltate ca: Franţa, SUA, Anglia, Canada şi Germania s-a trecut la aplicarea *mentenanţei bazate pe fiabilitate*, care utilizează tehnologiile preventive, predictive şi proactive într-o manieră integrantă, pentru a creşte gradul de încredere în funcţionarea fiabilă a componentelor şi echipamentelor într-un ciclu de viaţă extins.

Implementarea mentenanţei bazată pe fiabilitate permite atingerea obiectivelor din ISO 9000, conducând la: reducerea costurilor de mentenanţă, anticipând necesitatea efectuării operaţiilor; creşterea siguranţei în funcţionare a echipamentelor, diminuând la maximum pagubele materiale şi eliminând accidentele umane; prelungirea ciclului de viaţă al echipamentelor prin eliminarea cauzelor care au generat modul de defectare; utilizarea eficientă a echipamentului; crearea unei conlucrări între concepţie, producţie şi utilizator etc.

Implementarea unor astfel de concepţii de mentenanţă implică aplicarea unei strategii echilibrate între mentenanţa preventivă, predictivă şi proactivă.

Cunoscând starea echipamentului, aplicând mentenanţa preventivă, se vor selecta echipamentele care vor fi tratate predictiv şi proactiv, ţinând seama de criterii tehnico-economice.

Concluzii şi propuneri

1. Cunoscând că RENEL are ca obiectiv strategic satisfacerea imediată şi pe termen lung, a cererilor consumatorilor de energie electrică şi termică alimentaţi din instalaţiile sale, la un preţ cât mai scăzut în condiţii de calitate şi cu impact minim asupra mediului înconjurător, G.T.D.E.E. trebuie să optimizeze cheltuielile necesare strategiei în domeniul dezvoltării şi retehnologizării cu acelea din domeniul exploatării şi întreţinerii instalaţiilor de transport şi distribuţie.

Managementul mentenanţei implică o serie de aspecte care trebuie rezolvate în cadrul filialelor de reţele, din care amintim:

- Aspecte economice. Costurile pentru acţiuni de mentenanţă cuprind: costuri directe, semidirecte (stocarea de piese de schimb şi rebuturi) şi costuri indirecte (costul defectărilor).
- Aspecte metodologice. Managementul în domeniul mentenanţei va avea în vedere aplicarea unor măsuri antidefect ca: respectarea condiţiilor de utilizare a echipamentelor; efectuarea operaţiilor de exploatare prevăzute în cărţile tehnice ale produselor; corijarea deficienţelor de concepţie ale echipamentelor; remedierea operativă a deteriorărilor constatate şi ameliorarea permanentă a funcţiilor de exploatare şi de mentenanţă.
- Aspecte organizatorice. În general se urmăreşte: un cadru organizatoric adecvat prin elaborări de prescripţii, asigurarea unui personal pregătit în acest scop, o logistică în domeniul dotării cu aparate de măsură şi tehnologii moderne; gestionarea mentenanţei pe calculator; completarea metodelor actuale (aplicarea tehnicilor de diagnosticare şi modelare matematică pe baza datelor statistico-probabilistice) cu sisteme expert.

2. Continuarea analizei datelor din exploatare ca fiind punctul nodal pentru adoptarea programelor de mentenanţă, fiind singurul mod obiectiv de cunoaştere în profunzime a mecanismelor de defectare şi de deteriorare, a frecvenţei defecţiunilor, a elementelor componente care pot conduce la evenimente nedorite (deranjamente, incidente, avarii).

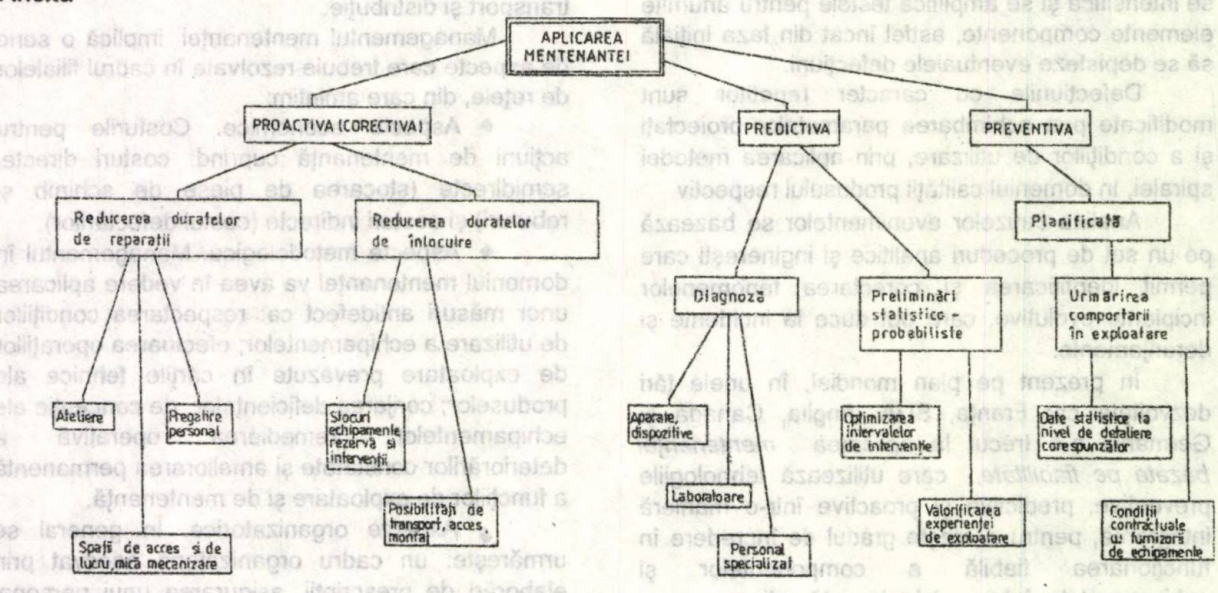
3. Adaptarea reglementărilor interne (PE 016 - *Normativ tehnic de reparaţii pentru echipamentele şi instalaţiile energetice*; PE 116 - *Normativ de încercări şi măsurători profilactice la echipamente şi instalaţii electrice*; PE 005 - *Regulament pentru analiza şi evidenţa incidentelor de exploatare din instalaţiile de producere, transport şi distribuţie a energiei electrice şi căldurii* şi *Instrucţiunile privind executarea lucrărilor de exploatare şi reparaţii ale fondurilor fixe energetice din gestiunea filialelor de reţele electrice),* la reglementările internaţionale (CEI 706/1-1992; CEI 706/1-1990 şi CEI 836- 1986), care tratează concepţia şi activităţile de mentenanţă.

4. Elaborarea unor instrucţiuni cuprinzând elementele necesare în vederea asigurării unor puncte de vedere unitare privind conţinutul şi condiţiile introducerii în cererile de ofertă a unor specificaţii tehnico-economice privind fiabilitatea şi mentenabilitatea echipamentelor electrice.

5. În vederea optimizării costurilor de mentenanţă şi a creşterii productivităţii muncii, G.T.D.E.E. va promova la toate filialele sale, pe lângă acţiuni moderne de exploatare, un sistem de mentenanţă care să combine tehnic şi economic toate tipurile de mentenanţă cunoscute în prezent (preventivă, predictivă şi proactivă - corectivă -), conducând la aceea bazată pe fiabilitate, conform diagramei din anexă.

Introducerea, din faza de concepţie, a unor, materiale, aparate şi echipamente care să conducă la o întreţinere minimă a instalaţiilor electrice, extinderea metodelor moderne de exploatare, dotarea cu utilaje, scule şi dispozitive şi aparatură specifică şi cu funcţionalităţi multiple, extinderea sistemului de asigurare a calităţii la toate activităţile şi aplicarea mentenanţei bazată pe fiabilitate vor face ca G.T.D.E.E. să atingă obiectivul de realizare a transportului şi distribuţiei energiei electrice în condiţii de siguranţă şi calitate la un cost cât mai redus.

Anexă



NOTĂ. Aplicarea integrată a mantenanţelor preventive, predictive şi proactive conduce la mentenanţa pe bază de fiabilitate.

BIBLIOGRAFIE

Documentele elaborate de Comitetul nr. 31 CIGRE şi materialele prezentate în cadrul CIGRE şi CIRED în perioada 1990 - 1994.

Referent: ing. Sorin Pispiris - RENEL - GSCI

(Primit la 6 decembrie 1995, acceptat la 20 decembrie 1995)

TEHNOLOGIE PENTRU DEPISTAREA DIN ELICOPTER A CONTACTELOR DEFECTE LA LEA PRIN TERMOGRAFIE ÎN INFRAROŞU

ing. CRISTIAN FEZI *; ing. MIRCEA SILAGHI ; ing. SORIN PICIU ;
ing. CRISTIAN BUDU ; ing. NISTOR NICA **

O nouă tehnologie de mentenanţă a LEA de înaltă tensiune, având ca obiect depistarea din elicopter a defectelor de contact electric pe LEA, folosind tehnica termografiei în infraroşu, a fost elaborată de ICEMENERG, cu colaborarea FRE Cluj.

În lucrare se prezintă principalele elemente ale noii tehnologii:echipamentul folosit (caracteristici, configuraţie, scheme), pregătirea lucrărilor, modul de efectuare a măsurătorilor aeriene, factori de influenţă şi corecţii necesare, rezultatele primelor experimentări pe LEA de 400 kV şi 220 kV, modul de prelucrare şi interpretare a rezultatelor.

Tehnologia este aplicabilă de către FRE Cluj, Galaţi, Craiova (care sunt dotate cu instalaţii de termografie INFRAMETRICS 760) pe LEA din gestiunea tuturor filialelor de reţele electrice din ţară.

A maintenance procedure for locating the defective contacts on overhead high-voltage electric lines by using infrared thermography has been developed by ICEMENERG in co-operation with RENEL - FRE Cluj.

The paper describes the main features of the new procedure : equipment used (specifications, configuration, schemes), preparatory works, measuring/recording IR images, disturbing factors and corrective precautions, results of the first experimental flights on 400 kV and 220 kV lines, processing and evaluating results.

The procedure is ready to be implemented by the electricity utilities Cluj, Galaţi and Craiova (owners of INFRAMETRICS 760 thermographic systems), in the benefit of all Romanian electricity utilities.

Descriptori: linie electrică aeriană, mentenanţă, termografie în infraroşu

Introducere

Contactele defectuoase în instalaţiile electrice sunt surse potenţiale de incidente şi avarii, cu consecinţe uneori importante asupra siguranţei în funcţionare şi asupra continuităţii în alimentarea consumatorilor.

Frecvenţe de apariţie a defectelor de circa 8% la 6 kV, circa 6% la 20 kV, 0,4% la 110 kV şi 0,2% la 220-400 kV au fost puse în evidenţă de studii extensive, bazate pe şase ani de măsurători efectuate în peste 2500 celule de staţii electrice de 6-750 kV ale RENEL (vezi lucrările 1, 2 din Nota autorului).

Localizarea acestor defecte cu instalaţiile în funcţiune, sub tensiune şi în sarcină, este posibilă prin metode de infraroşu fără contact direct (pirometrie, termografie), datorită supraîncălzirii contactelor defecte faţă de cele similare de pe fazele sănătoase.

Deşi metoda pirometriei în infraroşu este capabilă, din punct de vedere tehnic, să localizeze defecte de contact şi pe LEA, utilizarea ei extensivă în acest scop este limitată de necesitatea parcurgerii la sol a întregului traseu, cu vizarea precisă a fiecărui contact a cărui temperatură se măsoară.

Termografia în infraroşu este o tehnică ce permite obţinerea, cu ajutorul aparaturii adecvate, a imaginii termice (în tonuri de gri sau în culori artificiale) a suprafeţei corpurilor observate în domeniul spectral al infraroşului. Prin prelucrarea imaginii se obţine, prin calcul, temperatura în fiecare punct al acesteia.

Termografia în infraroşu, ca alternativă a pirometriei în infraroşu pentru localizarea defectelor de contact pe LEA, suferă, în cazul parcurgerii la sol a traseului, de aceleaşi limitări legate de durata

* RENEL - Grupul de Studii, Cercetări şi Inginerie - GSCI, Bucureşti
** RENEL - Filiala de Reţele Electrice Cluj

mare a lucrării, accesibilitatea, deseori dificilă, a culoarului LEA, obstacolele naturale (relief accidentat, cursuri de apă etc.).

Din această cauză instalarea aparaturii termografice la bordul unui elicopter şi inspectarea termografică aeriană a traseului LEA oferă ca avantaje o productivitate mult mai ridicată de investigare (circa 40 km/oră, faţă de 10-20 km/zi prin parcurgerea la sol), precum şi un acces uşor în zone dificile (munţi, mlaştini, cursuri de apă).

1. Premise tehnice

Elaborarea tehnologiei de depistare din elicopter a contactelor defecte la LEA prin termografie IR a devenit posibilă în cadrul RENEL odată cu dotarea FRE Cluj, Galaţi şi Craiova cu sisteme termografice INFRAMETRICS 760, de fabricaţie SUA. Caracteristicile tehnice ale acestora, prezentate în tabelul 1, le fac extrem de versatile, flexibile şi performante, aparatura putând fi utilizată într-un număr mare de aplicaţii dintre cele mai diverse, în regim staţionar sau portabil (mobil), la sol sau montat pe autovehicul sau elicopter, la distanţe mici (centimetri) până la distanţe mari (metri, sute de metri sau chiar kilometri, în funcţie de dimensiunile ţintei vizate), alimentat de la reţea sau autonom (baterii reîncărcabile), cu prelucrare imediată sau ulterioară a datelor, cu înregistrarea imaginii termice digital (pe dischetă magnetică) sau analogic (pe bandă video) etc.

De asemenea, elaborarea noii tehnologii a fost favorizată şi de existenţa unei oferte de servicii aeriene comerciale de elicoptere. Această piaţă este în prezent în formare şi există semnale că în scurt timp numărul operatorilor va creşte, ca şi diversitatea elicopterelor oferite.

Oferta momentană de elicoptere cuprinde :

- Aviaţia Utilitară S.A. - elicoptere tip Alouette III B;
- ROMAVIA S.A. - elicoptere tip Mi-8.

Pentru condiţiile actuale, a rezultat ca optimă alegerea elicopterului Alouette III B al Aviaţiei Utilitare.

Inspecţia aeriană a LEA, pe lângă depistarea contactelor supraîncălzite, permite, prin filmarea în spectrul vizibil a traseului LEA, diagnoza stării tehnice a acesteia:

- starea culoarului;
- starea stâlpilor, a fundaţiilor, a ancorelor, a lanţurilor de izolatoare;
- starea conductoarelor active şi de protecţie, a antivibratoarelor, a distanţierelor, a balizelor.

Tabelul 1

Caracteristici tehnice ale sistemului termografic INFRAMETRICS 760

Banda spectrală de trecere (nominală)	8-12 μm, 3-5 μm sau 3-12 μm
Detector	Mecur/Cadmiu/Telur la 77°C
Diferenţa de temperatură minimă detectabilă: la 30°C (8-12 μm, 3-12 μm) la 30°C (3 - 5 μm)	 0,1°C 0,2°C
Rezoluţie orizontală la 50 % contrast de fantă: bandă 8-12 μm banda 3-5 μm	 1,8 Mrad, 256 pixeli/linie 3,5 mRad, 256 pixeli/linie
Precizie (cazul cel mai defavorabil)	+/- 2°C sau +/- 2%
Viteza de baleiere	7812 Hz - orizontală, 50 Hz-verticală
Câmp de vedere	15° pe verticală x 20° pe orizontată, zoom 4 x electrono-optic continuu reglabil
Formatul semnalului de ieşire	CCIR-PAL, 8 biţi, 256 niveluri. 48 dB
Referinţă de temperatură	internă, eşantionată la 50 Hz
Lăţimea benzii de temperatură: domeniul normal domeniul extins	 2, 5, 10, 20, 50, 100°C 20, 50, 100, 200, 500, 1000°C
Gama temperaturilor măsurabile (pentru 8-12 μm	-20...+40°C domeniul normal 20.. +1500° C domeniul extins
Înregistrarea termogramelor	fişier digital (imagine) - pe dischetă 3,5" semnal video - pe bandă video
Alimentare	11 - 17 Vc.c. 30 W reţea 95-250 Vc.c. 47-63 Hz
Temperatură ambiantă de funcţionare	- 15 ... + 50°C
Dimensiuni, masă scaner biocul de comandă/măsură/ înregistrare	 57 x 127 x 130 mm, 3,4 kg 267 x 238 x 159 mm, 5,4 kg

2. Obiectivele experimentării tehnologiei

Noua tehnologie a fost experimentată în două etape, în condiţii reale cât mai diferite :

- pe LEA 400 kV Urecheşti-Domneşti, simplu circuit, cu două conductoare pe fază, cu dispunerea fazelor în plan orizontal, cu distanţe între faze de 10-13 m pe orizontală, situată la şes, într-un teren practic plat, fără denivelări;

• pe LEA 220 kV Lotru-Sibiu Sud, dublu circuit, cu un conductor pe fază, cu coronament în hexagon, cu distanţe între faze de circa 16 m pe orizontală şi circa 7 m pe verticală, traversând un teren de munte frământat (zona văii Lotrului şi a văii Oltului), la altitudini cuprinse între 1400 m şi 400 m, cu diferenţe de nivel în deschidere mergând până la 50-100 m. Experimentarea a avut ca obiect clarificarea şi definitivarea detaliilor legate de :

• pregătirea documentaţiei necesare a LEA;

• asigurarea condiţiilor de încărcare a liniei la minimum 50% din sarcina maximă pe durata experimentării;

• stabilirea configuraţiei aparaturii de măsură/înregistrare;

• elaborarea soluţiilor de montare şi de alimentare cu energie electrică a echipamentului la bordul elicopterului;

• dimensionarea echipei de lucru şi stabilirea optimală a misiunilor pe fiecare membru al echipei;

• stabilirea parametrilor preliminari de reglaj ai echipamentului de măsură/înregistrare;

• stabilirea parametrilor optimali de zbor (viteză, înălţime şi distanţă faţă de linie etc.);

• efectuarea înregistrărilor şi eventuala depistare a unor contacte defecte pe LEA;

• stabilirea factorilor de influenţă şi a corecţiilor necesare;

• stabilirea procedurii de prelucrare pe calculator a eventualelor defecte depistate şi de editare a rezultatelor.

3. Configuraţia schemei de măsură

În figura 1 se prezintă schema de măsură utilizată [4].

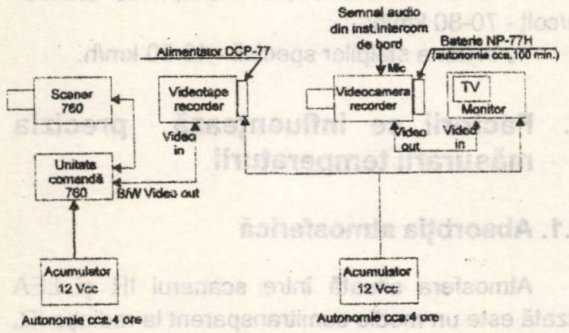


Fig.1. Schema configuraţiei de măsură şi a sistemului de alimentare.

Costul ridicat al orei de zbor împiedică orice prelucrare la bordul elicopterului; de aceea, în timpul zborului imaginea termografică (în IR), însoţită de datele numerice aferente, se înregistrează continuu pe bandă magnetică video (folosind un video-recorder portabil), urmând a fi prelucrată ulterior, în laborator.

Pentru menţinerea în permanenţă a elementelor LEA în câmpul vizual al scanerului în IR şi urmărirea acestora în timpul zborului cu viteza de 30-70 km/oră, este preferată afişarea imaginii pe un monitor suplimentar, cu ecran de dimensiuni mai mari decât ecranul LCD cu diagonala de 10 cm al unităţii centrale INFRAMETRICS. Întrucât elementele de interes din câmpul vizual sunt în mod normal la temperaturi apropiate între ele şi apropiate de temperatura ambiantă a fondului (deci cu un contrast termic redus) afişarea imaginii IR, în alb/negru, poate fi mai dificil de urmărit pe ecran.

Din această cauză, precum şi pentru a avea în permanenţă pentru referinţă şi localizare imaginea vizibilă a aceloraşi elemente, în paralel cu imaginea IR se înregistrează (pe bandă video separată) şi imaginea vizibilă, folosind o cameră video portabilă, iar această imagine în spectrul vizibil este afişată pe ecranul monitorului suplimentar, în locul celei în IR. Videocamera trebuie să aibă câmpul vizual foarte apropiat de cel al scanerului IR. Acest lucru se reglează din distanţa focală variabilă în limite relativ largi (zoom x 8) a videocamerei, la sol, înaintea decolării elicopterului.

Sincronizarea imaginii vizibile cu cea în IR se face prin înregistrarea simultană a orei, minutului şi secundei pe imaginea vizibilă şi în spaţiul invizibil rezervat informaţiilor numerice pe imaginea IR (accesibil ulterior, la prelucrarea pe calculator); din acest motiv, înaintea decolării elicopterului, cele două ceasuri trebuie aduse în concordanţă (sincronizate).

Alimentarea cu energie electrică a aparaturii se face autonom, independent de reţeaua electrică a elicopterului. Aparatura termografică propriu-zisă (INFRAMETRICS 760) se alimentează de la bateria de 12 V (autonomie circa 4 ore de funcţionare continuă) - din furnitura INFRAMETRICS, videorecorderul (prin intermediul alimentatorului său) şi monitorul TV suplimentar - de la altă baterie cu plumb identică (autonomie circa 4 ore de funcţionare continuă), iar video-camera - de la acumulatoare Ni-Cd reîncărcabile (autonomie circa 100 minute de funcţionare continuă).

4. Echipa de lucru

În structura minimală, echipa cuprinde trei membri. Misiunile şi poziţia acestora în elicopter sunt următoareie :

• operatorul 1 - plasat pe scaunul din stânga-faţă, deserveşte scanerul IR, videocamera, videorecorderul şi monitorul TV; orientează scanerul IR şi videocamera în permanenţă către elementele LEA, urmărind imaginea vizibilă pe ecranul monitorului TV; înlocuieşte bateria videocamerei, atunci când aceasta este descărcată; înlocuieşte casetele cu bandă la videorecorder şi videocameră, atunci când acest lucru devine necesar;

• operatorul 2 - plasat pe scaunul din stânga-spate, în spatele operatorului 1 şi în stânga coordonatorului de lucrare - deserveşte unitatea de comandă INFRAMETRICS 760: urmăreşte pe ecranul LCD imaginea termică, reglează domeniul de temperatură şi temperatura centrală a acestuia pentru a se obţine contrastul termic optim şi a nu avea saturări în imagine;

• coordonatorul de lucrare - plasat în spate, pe scaunul din dreapta operatorului 2; în zbor, pe baza documentaţiei LEA, urmăreşte traseul, anunţă numărul şi tipul stâlpilor, avertizează operatorul 1 asupra elementelor de interes, comentează la microfon desfăşurarea lucrării, solicită pilotului, în caz de nevoie, modificarea parametrilor de zbor; coordonatorul poate fi un membru al echipei executantului sau un specialist al beneficiarului.

5. Pregătirea documentaţiei

Întrucât în timpul zborului, la o viteză de 30-70 km/oră, reperarea, urmărirea şi notarea elementelor de linie se fac cu dificultate, este necesară întocmirea unei minime documentaţii prealabile, folosind informaţii furnizate de FRE gestionară a LEA : o schiţă simplificată a traseului, cu marcarea pe aceasta a succesiunii stâlpilor pe direcţia aleasă de parcurgere a LEA (cu tipul de stâlp şi numerotarea), a principalelor repere din teren supratraversate şi, mai ales, subtraversate (puncte periculoase de zbor ce trebuie semnalate pilotului), a distanţei parcurse de la staţia de plecare (considerată km 0), inclusiv lungimea totală a liniei etc. Pe această schiţă se vor face eventuale adnotări în timpul zborului, utile ulterior, la prelucrarea înregistrărilor.

Această schiţă are o dublă utilitate, facilitând:

• urmărirea şi reperarea în permanenţă, pe teren, în timpul survolării LEA, a poziţiei exacte pe traseu şi comentarea desfăşurării lucrării (înregistrată audio pe banda video);

• în laborator, prelucrarea înregistrărilor video/audio, compararea acestora cu documentaţia originală şi corectarea eventualelor neconcordanţe.

Documentaţia mai cuprinde, de asemenea, tipurile de cleme cu care este echipată linia, dar numai acelea care prezintă interes din punctul de vedere al verificării termografice, deoarece constituie o discontinuitate pe calea principală de curent-conductorul activ :

• cleme de înnădire prin presare pe conductoare active;

• cleme de legături electrice;

• cleme de tracţiune prin presare cu derivaţie - cu papuc (TPD).

Clemele de tracţiune prin presare TPs asigură continuitatea conductorului activ (pe care sunt presate) şi, din această cauză, neavând nici un contact electric (discontinuitate parcursă de curentul de sarcină), nu se încălzesc niciodată peste temperatura conductorului şi deci nu constituie un obiectiv al verificării termografice.

6. Parametrii de zbor

Linia este survolată în lungul ei, lateral, la o distanţă care să permită cuprinderea simultană în câmpul de vedere a întregului coronament al stâlpilor de întindere/colţ şi toate conductoarele din deschidere.

Parametrii de zbor sunt următorii :

• poziţia de zbor - laterală faţă de linie (pe partea dreaptă a acesteia, în direcţia de zbor);

• înălţimea faţă de conductoare- circa 3-5 m;

• înălţimea faţă de sol - 25-40 m (la nivelul consolelor superioare);

• distanţa faţă de conductorul cel mai apropiat - 15-35 m (în funcţie de tipul liniei şi de distanţele între faze);

• viteza de zbor :

• în aliniamentele dintre stâlpii de întindere/colţ - 70-80 km/h;

• în zona stâlpilor speciali - 40-50 km/h.

7. Factorii ce influenţează precizia măsurării temperaturii

7.1. Absorbţia atmosferică

Atmosfera situată între scanerul IR şi LEA vizată este un mediu semitransparent la radiaţia IR, cu un factor de transmisie subunitar, care depinde în general de latitudinea geografică, de conţinutul de CO_2 şi H_2O din atmosferă şi de distanţa de măsură. Pentru distanţe peste 100 m sunt necesare calcule complexe, utilizând programe sau tabele speciale. Pentru distanţe mici, sub 100 m, în

practica termografică se consideră un model simplificat al atmosferei, rezultând curbe de variaţie numai în funcţie de distanţa de măsură, diferite după domeniul spectral utilizat al scanerului (fig.2).

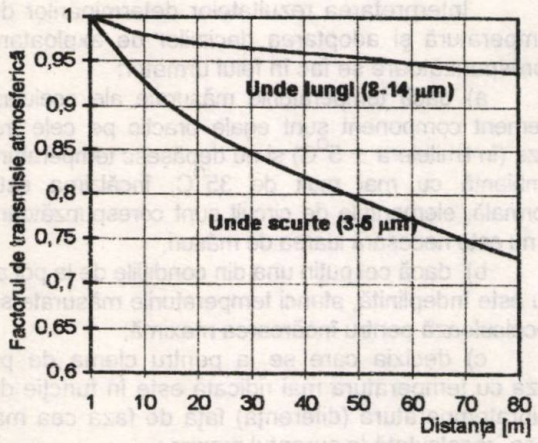


Fig. 2 Factorul de transmisie atmosferică.

În domeniul undelor lungi (8-14 mm), atenuarea introdusă de atmosferă este practic neînsemnată (4% la 40 m distanţă) şi poate fi neglijată, în timp ce în domeniul undelor scurte (3-5 mm), atenuarea este importantă şi creşte rapid cu distanţa (circa 18% la 40 m distanţă).

Din acest motiv, în această aplicaţie (mai mult decât în altele) se impune utilizarea domeniului spectral 8-14 mm.

7.2. Rezoluţia spaţială finită a detectorului IR

Rezoluţia spaţială reprezintă capacitatea sistemului termografic IR de a diferenţia, în mod semnificativ, temperaturi ale unor puncte foarte apropiate ca distanţă.

Dimensiunea unghiulară a ţintei vizate (mărimea unghiului sub care aparatul "vede" ţinta) determină mărimea semnalului furnizat de detector şi, implicit, corectitudinea măsurării exacte a temperaturii. În figura 3 se prezintă funcţia de răspuns a sistemului INFRAMETRICS 760 la variaţia lăţimii unghiulare a unei fante modulatoare.

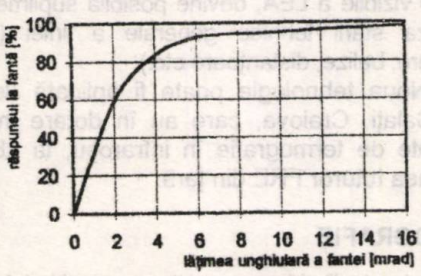


Fig.3. Funcţia de răspuns la fantă.

Se observă că rezoluţia spaţială limitată face ca, odată cu îndepărtarea de ţintă (şi implicit reducerea dimensiunii unghiulare a acesteia), semnalul dat de camera IR să scadă în amplitudine, introducând astfel erori în măsurarea temperaturii.

Trei valori caracteristice de lăţimi unghiulare definesc criterii importante :

- criteriul de măsurabilitate a $>a_{98}$ (unde a_{98} este unghiul pentru care răspunsul sistemului este de 98%);
- criteriul de observabilitate a $>a_{50}$;
- criteriul de observabilitate la limită a $>a_{10}$.

Pentru sistemul INFRAMETRICS: a_{98}=13 mrad, a_{50} =1,8 mrad şi a_{10} = 0,4 mrad. La dimensiunile uzuale ale clemelor LEA (circa 50 mm), aceste unghiuri corespund următoarelor distanţe maxime critice :

- circa 5 m - pentru măsurare corectă;
- circa 28 m - pentru observabilitate bună;
- circa 125 m - pentru observabilitate la limită.

Rezultă deci că, la distanţele uzuale de măsurare din elicopter faţă de LEA (15...35 m), eventualele cleme supraîncălzite sunt observabile în condiţii bune, dar temperatura măsurată este afectată de o eroare sistematică ce trebuie corectată prin calcul, la prelucrarea ulterioară a înregistrărilor.

Cu titlu de exemplu, pentru o distanţă de măsură de 30 m şi o temperatură măsurată aparentă de 70°C, corecţia calculată de temperatură conduce la valoarea reală de 82°C.

7.3. Curentul de sarcină al liniei

Localizarea în infraroşu a contactelor defecte este posibilă ca urmare a faptului că un contact defect are o rezistenţă mărită (datorită coroziunii, slăbirii presiunii de contact, deformării remanente a materialului etc.), pe care curentul de sarcină al LEA disipă o cantitate de energie ce se transformă în căldură şi îi supraîncălzeşte. Gradul de încălzire este direct proporţional cu pătratul curentului de sarcină şi variază deci în permanenţă, în concordanţă cu încărcarea momentană a liniei.

Este esenţial să se asigure o sarcină de minimum 50% din cea maximă pe tot parcursul inspectării LEA, pentru a putea evidenţia orice încălzire anormală de contact.

Evaluarea gravităţii defectului şi, în consecinţă, adoptarea strategiei optime tehnic şi economic trebuie să se facă pe baza recalculării în condiţii comparabile, standard, a temperaturilor măsurate, şi anume prin raportare la curentul maxim al liniei :

$$\Delta T_{recalculat} = \Delta T_{măsurat} x \left(\frac{I_{max}}{I} \right)^2$$

7.4. Viteza vântului

Vântul exercită un efect de răcire a contactelor, ceea ce poate conduce la concluzii optimiste, falsificând realitatea. Din acest motiv, pentru viteze ale vântului de peste 2 m/s, valorile măsurate ale temperaturii trebuie corectate cu factorul din figura 4.

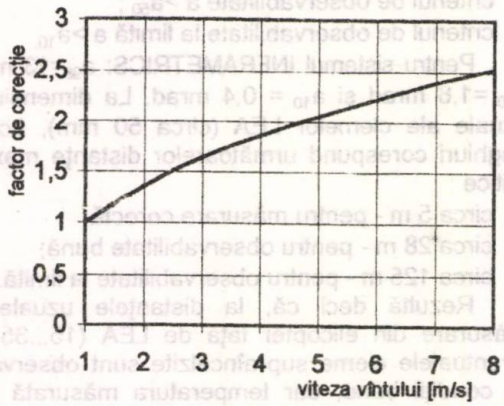


Fig.4. Factorul de corecţie a temperaturii cu viteza vântului.

8. Depistarea defectelor. Prelucrarea înregistrărilor

În zbor, depistarea este posibilă datorită fixării unui domeniu relativ îngust de temperatură (5 sau 10°C) şi utilizării unei palete de culoare speciale (alb/negru cu praguri de saturaţie - markeri de depăşire a limitei domeniului : inferior-albastru şi superior-roşu). Orice depăşire cu maximum 5-10°C a temperaturii normale (în general temperatura mediului ambiant) se traduce prin apariţia pe ecranul LCD al unităţii centrale INFRAMETRICS a marcajului cu roşu al contactului încălzit, deci depistarea şi localizarea sa. Se înregistrează în continuare pe bandă imaginea termografică fără saturaţie, pentru a fi ulterior prelucrată în laborator.

Prelucrarea în laborator se face folosind sistemul de prelucrare a imaginilor termice în infraroşu *ThermaGRAM* versiunea 5.0., constând din placa specială de achiziţie şi digitizare a imaginii video în timp real şi din programul de calcul aferent.

Prelucrarea constă, în principal, în "îngheţarea" imaginii termografice video a stâlpilor speciali sau a tronsoanelor de conductor activ cu cleme de înnădire, digitizarea imaginii, determinarea temperaturii contactelor şi compararea acestora, prelucrarea grafică a imaginii (înscrierea valorilor numerice de temperaturi şi diferenţe de temperaturi, eventual a unor comentarii).

9. Criterii de evaluare a defectelor

Interpretarea rezultatelor determinărilor de temperatură şi adoptarea deciziilor de exploatare corespunzătoare se fac în felul următor:

a) dacă temperaturile măsurate ale aceluiaşi element component sunt egale practic pe cele trei faze (în limitele a ± 5°C) şi nu depăşesc temperatura ambiantă cu mai mult de 35°C, încălzirea este normală, elementele de circuit sunt corespunzătoare şi nu este necesară luarea de măsuri;

b) dacă cel puţin una din condiţiile de la pct.a) nu este îndeplinită, atunci temperaturile măsurate se recalculează pentru încărcarea maximă;

c) decizia care se ia pentru clema de pe faza cu temperatura mai ridicată este în funcţie de supratemperatura (diferenţa) faţă de faza cea mai rece, recalculată la curentul maxim :

- 0-10°C - nu se ia nici o măsură; se permite funcţionarea în continuare, cu reverificarea încălzirii după 6 luni;
- 10-20°C - se reverifică încălzirea şi se repară/înlocuieşte elementul defect la următoarea revizie planificată;
- 20-35°C - se reverifică încălzirea şi se repară/înlocuieşte elementul defect în termen de cel mult 6 luni;
- peste 35°C - se reverifică încălzirea şi se repară/înlocuieşte imediat elementul defect.

Concluzii

O nouă tehnologie de mentenanţă preventivă şi predictivă, având ca obiect depistarea din elicopter a contactelor defecte pe LEA prin termografie în infraroşu, a fost recent pusă la punct de ICEMENERG în colaborare cu FRE Cluj.

Avantajele acestei tehnologii constau într-o reducere importantă a timpului necesar pentru inspectarea contactelor LEA (circa 2,5 ore/100 km, faţă de 5-10 zile/100 km), precum şi în accesul uşor în zone dificile (munţi, mlaştini, cursuri de apă).

Prin înregistrarea continuă simultană pe bandă magnetică atât a imaginii termice în infraroşu, cât şi a imaginii vizibile a LEA, devine posibilă suplimentar şi diagnoza stării tehnice generale a liniei (culoar, izolatoare, balize, distanţoare etc.).

Noua tehnologie poate fi aplicată de FRE Cluj, Galaţi, Craiova, care au în dotare instalaţii adecvate de termografie în infraroşu, la LEA din gestiunea tuturor FRE din ţară.

BIBLIOGRAFIE

[1] Pajani, D. *Mesure par thermographie infrarouge.* ADD Editeur, Le Plessis Robinson, 1989

Nota autorului: La elaborarea aprezentei lucrări au fost consultate următoarele lucrări:

[1] Fezi, C. *Verificarea în exploatare a încălzirii contactelor în staţii electrice prin metoda teledetecţiei termice în infraroşu.* Lucrare ICEMENERG 1988-1993

[2] Fezi, C. *Tehnologie pentru depistarea de la distanţă a supraîncălzirii elementelor căii de curent din instalaţiile electroenergetice.* Simpozionul Naţional al Reţelelor Electrice, ed.a 5-a, Cluj-Napoca, 5-7 oct. 1988

[3] * * * 3.E-I 193 - 92 *Instrucţiune tehnologică pentru depistarea de la distanţă a supraîncălzirii căilor de curent din instalaţiile electrice prin pirometrie în infraroşu.* ICEMENERG, Bucureşti, 1993

[4] Fezi, C. *Tehnologie pentru depistarea din helicopter a contactelor defecte la LEA prin metoda termografică.* Lucrare ICEMENERG 1995

Referent: ing. Corneliu Pâslaru - RENEL - GTDEE

(Primit la 13 decembrie 1995, acceptat la 21 ianuarie 1996)

Recenzie

History of light and lighting, Ed. Philips Lighting, Eindhoven, 1986

Povestea fascinantă a lumii şi iluminatului are aceeaşi vechime ca istoria omenirii însăşi. A început atunci când omul a învăţat să controleze focul şi continuă şi astăzi, prin contribuţii deosebite în domeniul tehnologiei fabricaţiei de surse de lumină.

"History of light and lighting" reprezintă o trecere în revistă a producerii luminii artificiale, de la primele încercări ce datează din epoci îndepărtate (când se folosea uleiul vegetal ars în cavităţi săpate în piatră) şi până la lampa fluorescentă compactă. Informaţiile sunt însoţite de imagini sugestive, şi sunt structurate pe şase capitole, în funcţie de modul de producere a luminii artificiale. Pentru fiecare din acestea au fost semnalate informaţiile cele mai importante, după cum urmează:

Capitolul 1, **Cele mai vechi surse de lumină,** în care sunt menţionate cele mai importante descoperiri ce au marcat evoluţia surselor de lumină: utilizarea fitilului circular de către fizicianul elveţian Amie Argand în 1784, lampadarul cu ulei folosit în iluminatul public de către olandezul Jan Van der Heyden pentru prima dată în 1669 la iluminatul public al Amsterdamului.

Capitolul 2, **Lumina cu gaz** , în care este menţionată utilizarea gazului, în 1783, în trei locuri diferite fără legătură unul cu ultul: olandezul Jan Minckelers l-a folosit pentru prima dată la iluminatul unei săli de lectură de la universitatea din Louvain, englezul George Dixon ce şi-a iluminat propria casă şi inginerul francez Philippe Lebon.

Producerea şi distribuţia în oraş a gazului printr-o întreagă reţea de conducte aparţine germanului, ce lucra la acea vreme în Londra, Friedrik Albert Winzer (Winsor).

În 1807, după o demonstraţie de succes la Londra el a format National Light and Heat Company. Ea a fost mai târziu denumită Gas Light and Coke Company şi a început să producă în 1813, devenind cea mai mare companie din lume. După doi ani, în 1813, reţeaua de distribuţie a gazului din Londra măsura 26 de mile.

În capitolul 3, **Lumina artificială înainte de lampa cu incandescenţă,** se menţionează pasul făcut în evoluţia sursei de lumină prin utilizarea aplicaţiilor arcului electric. Printre acestea se numără şi cea din anul 1849, când pe scena teatrului din Paris, la premiera operei "Le Prophite" a lui Giacomo Meyerbeer, soarele a fost simbolizat de un arc electric. După această reuşită, au fost iluminate în Marea Britanie locuinţe, iar la Paris - Place de la Concorde.

Capitolul 4, **Lampa cu incandescenţă,** prezintă descoperirea lui Edison* în 1893, care a constituit începutul unei noi tehnologii.

Producerea surselor cu incandescenţă a fost făcută de compania Philips la trei ani după ce a fost descoperit filamentul de Wo de către Alexander Just şi Franz Hanamann.

Capitolul 5 **Lampa cu descărcări** . După 1924 două mari descoperiri au fost atribuite echipei germane Friedrich Meyer, Hans Spanner şi Edmund Germer - care au pus bazele lămpii fluorescente de azi. Astfel, în 1935 prima lampă fluorescentă a fost prezentată la Convenţia Anuală a IES (Iluminating Engineers Society of North America), iar ulterior a fost folosită pentru prima dată la iluminatul unei săli de banchet din Washington la celebrarea centenarului Unites States Patent Office.

În acest domeniu trebuie menţionată introducerea în 1980 a lămpilor fluorescente compacte, Philips SL şi PL fiind probabil cele mai avansate în domeniu.

În 1932 primul sistem de iluminat stradal a fost realizat între Beek şi Geleen, două localităţi din Olanda, iar în 1933 a fost realizat primul sistem de iluminat la tunelul Scheldt - Anvers, folosindu-se lămpi de sodiu de joasă presiune.

Capitolul 6, **Producerea şi distribuirea energiei electrice,** menţionează: apariţia primei baterii, a generatoarelor şi a sistemelor de furnizare a energiei electrice.

Este greu de estimat rolul luminii artificiale în zilele noastre. Fără ea viaţa socială, culturală, comercială s-ar putea rezuma doar la durata luminii naturale. Celor care au contribuit la evoluţia luminii le este dedicată această carte. Ea are la bază o documentare foarte amplă: arhivele, librăria tehnică - Philips Lighting, Muzeul electricităţii din Nijkerk şi colecţia particulară a lui Henk van der Berg (Leiden).

as. ing. Adriana Georgescu
prof. dr. ing. Cornel Bianchi

P.S. Lucrarea poate fi consultată la redacţia revistei ENERGETICA sau la biblioteca GSCI.

* Conform La Rousse 1990 : lampa cu incandescenţă a fost inventată de T.A. Edison în 1878

ESTIMAREA PERIODICITĂŢII OPTIME A REVIZIILOR ÎNTRERUPĂTOARELOR DE MEDIE TENSIUNE CU ULEI PUŢIN

ing. EUGEN MIHALCEA; ing.LUCIAN CIUPULIGA *

Lucrarea se înscrie pe linia preocupărilor întreprinse pentru trecerea de la o mentenanţă corectivă la o mentenanţă predictivă combinat cu reducerea cheltuielilor cauzate de o întreţinere neoptimizată a echipamentului.

Pe plan mondial, s-au întreprins foarte multe cercetări pentru găsirea unui criteriu de însumare a efectelor uzurii la întrerupătoarele de medie tensiune cu ulei puţin, eforturi care n-au fost însă încununate de succes şi datorită faptului că s-a trecut la generaţii noi de întrerupătoare cu mentenanţă redusă (întrerupătoare în vid, cu hexafiorură de sulf etc.).

În lucrare, se prezintă rezultatele încercărilor efectuate de-a lungul a mai multor ani în Staţia de Mare Putere a ICEMENERG.

Pe baza preluării matematice a rezultatelor acestor încercări autorii preconizează şi o metodă de estimare a efectelor uzurii şi de însumare a acestora, implicit a duratei restante de viaţă a aparatului (prin "viaţa aparatului" înţelegându-se de fapt timpul de funcţionare între două revizii, bazat pe ideea că o revizie restabileşte în întregime capabilităţile aparatului).

The paper joins by its topic to the concerns on transition from the correcting maintenance to a predictive one along with cutting down of the equipment unoptimized costs.

Research has been performed worldwide to find a criterion for summing up the effects caused by the medium voltage low oil circuit breakers wear. These efforts have not been yet successful due to the production of new circuit breakers with reduced maintenance (vacuum circuit breakers, sulfur hexafloride circuit breakers etc.)

The paper presents power the results of the tests performed for several years at the ICEMENERG's High Power Station. Based on the mathematical process of these results, the authors foresee an assessment method of the wear effects and their summing up as well as the device residual life (the device's life meaning in fact the duration of operation between two inspections, considering that an inspection fully restores the device capabilities).

Descriptori: mentenanţă, întrerupătoare de medie tensiune

1. Introducere

În domeniul tensiunilor medii, populaţia majoritară o reprezintă întrerupătoarele cu ulei puţin, de tip ortojector (IO) şi - relativ foarte puţin - tip cu ulei puţin (IUP) şi cu ulei puţin şi gabarit redus (tip UN). Mai există întrerupătoare cu aer comprimat şi sunt pe punctul de a pătrunde întrerupătoarele cu hexafluorură de sulf. Mai sunt de asemenea - în special la staţiile care sunt în gestiunea şi în exploatarea beneficiarilor - întrerupătoare cu etilen glicool şi întrerupătoare cu suflaj magnetic.

În lucrare se analizează numai cazul întrerupătoarelor cu ulei putin (tip IO, IUP). Întrerupătoarele cu hexafluorură de sulf şi întrerupătoarele în vid reprezintă noile generaţii de întrerupătoare, care, din experienţa mondială, au o fiabilitate ridicată şi o mentenanţă redusă. Ele constituie soluţiile de viitor şi nu se poate pune, în acest moment, problema abordării duratei de viaţă restante - în contextul tratării acestei probleme pentru populaţia majoritară, reprezentată de întrerupătoarele cu ulei puţin.

* RENEL - Grupul de Studii, Cercetări şi Inginerie - GSCI - Bucureşti

În articol:

- se analizează defecţiunile cel mai frecvent apărute în timpul funcţionării întrerupătoarelor, cu reliefarea cauzelor care le-au produs şi a efectelor asupra uzurii şi a duratei de viaţă restante;
- se prezintă în mod succint probele de anduranţă electrică a întrerupătoarelor de medie tensiune, efectuate până în prezent în Staţia de Mare Putere a ICEMENERG şi criteriile de apreciere a uzurii;
- se prezintă algoritmul pentru determinarea duratei de viaţă restante, între două revizii, pe baza analizei rezultatelor probelor.

2. Defecţiuni posibile

În urma unei experienţe acumulate în ICEMENERG pe o perioadă de circa 25 ani (1970-1995), de când se elaborează "*Studiul privind comportarea în exploatare a echipamentului din staţii şi reţele electrice*", s-a constatat că principalele sisteme supuse defecţiunilor şi/sau uzurilor, la întrerupătoarele de medie tensiune, sunt:

◊ mecanismul de acţionare;
◊ uleiul electroizolant, folosit ca mediu de stingere şi mediu electroizolant;
◊ contactele electrice;
◊ camera de stingere a arcului electric.

Din punctul de vedere al cauzelor şi efectelor deteriorării şi/sau uzurii acestor sisteme, situaţia se prezintă astfel:

2.1. Mecanismul de acţionare

2.1.1. *Deteriorări şi/sau uzuri cauzate de*:

* dispozitivele de zăvorâre (seceră, clichet de zăvorâre etc.) - cauză majoritară;
* sistemul de alimentare a servomotorului de armare a resoartelor (siguranţe fuzibile, contacte CSA) - cauză frecventă;
* electromagneţii de comandă - cauză relativ frecventă;
* servomotorul de armare a resoartelor - cauză relativ rară;
* blocul de contacte de semnalizare (CSA) - cauză rară;
* resoartele de asigurare a operaţiilor de închidere şi deschidere - cauză foarte rară.

2.1.2. *Efecte*

Defectările sau uzurile premature ale dispozitivelor de acţionare produc, în general, două tipuri de efecte:

⇒ *efecte frecvente*: se manifestă prin refuzuri de declanşare, sau refuzul aparatului de a se zăvorî pe poziţia închis;

⇒ *efecte mai puţin frecvente*: alterarea caracteristicilor cinematice, cu implicaţii asupra diminuării vitezei contactelor mobile, respectiv cu mărirea timpului de arc electric.

Se observă că:

♦ refuzul de declanşare, sau nezăvorârea pe poziţia închis, deşi deosebit de grave pentru funcţia pe care trebuie să o asigure întrerupătorul, nu are implicaţii directe asupra uzurii aparatului, respectiv asupra duratei de viaţă rămase;

♦ diminuarea caracteristicilor cinematice are implicaţii directe asupra uzurii aparatului datorită timpului prelungit de ardere a arcului electric.

2.2. Uleiul electroizolant

2.2.1. *Cauze*

* alterarea rapidă (în lipsa unor factori favorizanţi) a calităţilor electroizolante ale uleiului - cauză frecventă;
* diminuarea rapidă a calităţilor electroizolante datorită efectelor provocate de arcul electric - cauză frecventă;
* scăderea nivelului electroizolant datorită neetanşeităţilor - cauză relativ frecventă.

2.2.2 *Efecte*

⇒ alterarea sau diminuarea caracteristicilor uleiului electroizolant are efecte directe asupra duratei de viaţă restante a întrerupătoarelor de medie tensiune;

⇒ scăderea nivelului uleiului electroizolant este defecţiune majoră, care poate produce explozia aparatului în procesul de rupere a unui curent de scurtcircuit.

2.3. Contactele electrice

2.3.1. *Cauze*

* migrarea de material din contactele de arc sub acţiunea efectelor provocate de arcul electric în procesul de decontare - cauză frecventă;
* migrarea de material din contactele de regim permanent (la "degetele" de contact ale contactorului fix) - cauză relativ frecventă;
* ruperea contactului de arc din capătul tijei contactului mobil - cauză puţin frecventă.

2.3.2. *Efecte*

⇒ uzura prematură a contactelor de arc produce un efect direct asupra duratei de viaţă

a întrerupătorului. De asemenea, uzura contactelor de regim permanent provoacă o creştere locală a temperaturii în momentul trecerii curentului de sarcină (apariţia unei "pete calde") cu efecte directe asupra alterării uleiului electroizolant şi, deci, asupra duratei de viaţă restante;

⇒ ruperea contactului de arc are ca efect topirea contactului de regim permanent, cu posibilitatea de explozie a aparatului.

2.4. Camera de stingere a arcului electric

2.4.1. *Cauze*

* arsuri locale ale pereţilor despărţitori ai compartimentelor camerei de stingere, provocate de efectele termice ale arcului electric datorat deconectării curenţilor de defect - cauze relativ frecvente;

* funcţionarea necorespunzătoare a supapelor de eşapare a gazelor formate de descompunerea uleiului sub acţiunea arcului electric - cauze relativ frecvente.

2.4.2. *Efecte*

⇒ arsurile locale au ca efect înrăutăţirea rapidă a caracteristicilor electroizolante ale uleiului; se manifestă prin ruperi greoaie ale curenţilor de scurtcircuit, cu prelungirea timpului de arc (ruperea se produce la a treia trecere prin zero a curentului);

⇒ deschiderea supapelor de eşapare a gazelor prea devreme are ca efect eşapări de ulei în procesul de deconectare, producând scăderea nivelului de ulei în cilindrii întrerupătorului.

3. Probe efectuate

Pe baza rezultatelor experimentale de care se dispunea la Staţia de Mare Putere a ICEMENERG din probele făcute anterior s-a putut determina un algoritm de estimare a uzurii şi apoi un algoritm de estimare a duratei de funcţionare restante până la prima revizie pentru întreruptoare de medie tensiune cu ulei puţin.

Algoritmul pentru estimarea uzurii reprezintă o relaţie de forma $y = a \cdot x^b$, unde y reprezintă un număr de ruperi estimat prin calcul, iar x reprezintă raportul dintre curentul nominal de rupere la scurtcircuit şi curentul de scurtcircuit rupt.

Constantele a şi b sunt specifice fiecărui tip de întrerupător. Ele s-au determinat iniţial din datele referitoare la numărul de ruperi ale curenţilor situaţi în zona curentului nominal de rupere la scurtcircuit şi s-au corectat apoi pentru zona curenţilor nominali de funcţionare.

Cu aceste relaţii se obţin, corespunzător datelor experimentale prezentate în prima fază a lucrării, valorile coeficienţilor numerici şi respectiv funcţiile de dependenţă a numărului admisibil de ruperi de valoarea curentului rupt (tabelul 1).

Tabelul 1

Nr. crt.	Tipul întrerupătorului	Funcţia uzurii
1	IO - 12/630	$N=3{,}785\ (Ir_n/Isc)^{1.329}$
2	IO - 12/1250	$N = 4{,}151\ (Ir_n/Isc)^{1.229}$
3	IO - 12/2500	$N = 6{,}246\ (Ir_n/Isc)^{1.345}$
4	IO - 24/630	$N = 4{,}71\ (Ir_n/Isc)^{1.525}$
5	IOM - 24/630	$N = 3{,}33\ (Ir_n/Isc)^{2.06}$
6	IO - 24/1250	$N = 6{,}77\ (Ir_n/Isc)^{1.817}$
7	IUPM - 12/630	$N = 3{,}077\ (Ir_n/Isc)^{1.409}$
8	IUPM - 12/1000	$N = 2{,}93\ (Ir_n/Isc)^{1.516}$
9	IUPM - 24/630	$N = 4{,}224\ (Ir_n/Isc)^{1.355}$

Tot în cursul experimentărilor efectuate în Staţia de Mare Putere s-a constatat că uzura uleiului (care a fost ales drept criteriu de estimare a uzurii datorită vitezei ridicate de degradare sub influenţa arcului electric din procesele de comutaţie) se produce după o anumită lege. Dacă se alege drept criteriu de calitate a uleiului valoarea rigidităţii dielectrice a acestuia, această valoare se diminuează după o alură exponenţială, în funcţie de numărul de ruperi. Exponentul funcţiei depinde de valoarea curentului rupt. Expresia matematică a variaţiei rigidităţii dielectrice este:

$$\frac{E_d}{E_{dx}} = e^{k \cdot N_x}, \qquad (1)$$

unde:

E_d este rigiditatea dielectrică iniţială;

E_{dx} - rigiditatea dielectrică după N_x ruperi;

N_x - numărul de ruperi, la aceeaşi valoare a curentului la care se calculează valoarea E_{dx} a rigidităţii dielectrice a uleiului;

k - factor numeric care depinde de valoarea curentului la care se fac ruperile.

Pentru determinarea factorului k se ţine seama că raportul între rigiditatea dielectrică iniţială (a uleiului nou, la care se încep ruperile) şi rigiditatea dielectrică finală (la care se opresc încercările) corespunde cu numărul de ruperi estimat pentru un anumit curent de scurtcircuit:

$$\frac{E_{d\ inițial}}{E_{d\ final}} = e^{k\,N\ estimat}\Big|_{I_{sc}} \quad (2)$$

Relaţia (2) permite ca, fiind cunoscută rigiditatea dielectrică iniţială (de exemplu, conform programului de probe - 140 kV/cm), rigiditatea dielectrică finală (60 kV/cm) şi numărul de ruperi estimat (de exemplu, conform tabelului 1 de mai înainte, patru ruperi la un curent de rupere egal cu curentul nominal de rupere la scurtcircuit al întrerupătorului IO-12/630) să se calculeze factorul k, corespunzător unui întrerupător IO-12/630 şi unui curent de scurtcircuit egal cu curentul nominal de rupere la scurtcircuit al acestuia.

Din relaţia (1) se observă că uzura uleiului electroizolant din camera de stingere a întrerupătorului nu este liniară. Astfel, dacă întrerupătorul este supus numai la ruperi ale curentului de scurtcircuit, la prima rupere se produce o scădere puternică a rigidităţii dielectrice, la următoarele ruperi scăderile fiind mai reduse.

4. Algoritmul de estimare a uzurii

Pe logica prezentată mai sus s-a elaborat un algoritm de însumare a uzurii, care, corelat şi cu figura 1, este următorul:

- întrerupătorul funcţionează în condiţii normale de exploatare, efectuând N_1 ruperi ale unui curent cu valoarea I_1;
- la curentul I_1, conform relaţiilor din tabelul 1 de mai înainte, întrerupătorul poate efectua $N_{1\ estimat}$ ruperi;
- se calculează, cu ajutorul relaţiei (1), variaţia rigidităţii dielectrice cu numărul de ruperi, pentru curentul I_1 - curba 1 din figura 1;
- se determină uzura uleiului - punctul E_{dx1}/E_d din figura 1;

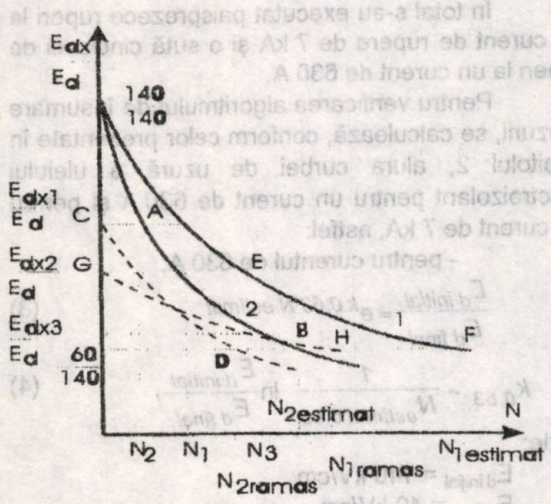


Fig.1.

- întrerupătorul face N_2 ruperi la un curent I_2, în zona curenţilor de scurtcircuit, datorită producerii unei avarii;
- la curentul I_2, conform relaţiilor din tabelul 1, întrerupătorul poate efectua $N_{2\ estimat}$ ruperi;
- se calculează cu ajutorul relaţiei (1), variaţia rigidităţii dielectrice cu numărul de ruperi, pentru curentul I_2 - curba 2 din figura 1;
- se translatează porţiunea A-B a curbei 2, paralel cu ea însăşi, până în punctul E_{dx1}/E_d - respectiv portiunea C-D; în acest fel, faţă de numărul de ruperi $N_{2\ estimat}$ pentru curentul I_2, întrerupătorul mai poate efectua numai $N_{2\ rămas}$ ruperi datorită uzurii provocate de cele N_1 ruperi la curentul I_1;
- curentul I_2 - N_2 ruperi produce o uzură a uleiului care se poate determina prin construcţie grafică - punctul E_{dx2}/E_d;
- întrerupătorul funcţionează în continuare la curentul I_1; se translatează porţiunea E-F a curbei 1, paralel cu ea însăşi, în punctul E_{dx2}/E_d - respectiv porţiunea G-H; în acest fel, faţă de numărul de ruperi $N_{1\ estimat}$ - $N_{1\ rămase}$ disponibile pentru curentul I_1, datorită celor N_2 ruperi la valoarea I_2 a curentului, numărul de ruperi rămas în realitate este $N_{1\ rămas}$;
- întrerupătorul efectuează un număr de N_3 ruperi la curentul I_1;
- uzura uleiului este caracterizată de valoarea E_{dx3}/E_d determinată prin construcţie grafică.

Pentru uşurinţa înţelegerii graficului, algoritmul este prezentat pentru un regim de funcţionare format din:

- N_1 ruperi la valoarea I_1 a curentului, în zona curentului nominal al aparatului;
- o rupere la valoarea I_2 a curentului, în zona curentului de rupere la scurtcircuit al aparatului;
- N_3 ruperi la valoarea I_1 a curentului.

Algoritmul de însumare a efectelor uzurii (cel puţin uzura uleiului - care este elementul de referinţă datorită vitezei mari de degradare) este valabil pentru orice valoare a curentului rupt. În condiţiile în care rigiditatea dielectrică iniţială a uleiului nu este 140 kV/cm, se aplică un algoritm de corectare a numărului estimat de ruperi, care a fost determinat experimental şi apoi prin formulele din tabelul 1, pentru o valoare a rigidităţii dielectrice de 140 kV/cm.

Algoritmul de corecţie, cu referire şi la figura 2, se aplică astfel:

- pentru o valoare I_1 a curentului rupt, se trasează variaţia rigidităţii dielectrice cu numărul de

ruperi cu ajutorul relaţiei (16), în care factorul k se determină cu $N_{1\ estimat}$ corespunzător curentului I_1 şi relaţiilor din tabelul 1;

- se trasează dreapta corespunzătoare rigidităţii dielectrice iniţiale a uleiului electroizolant; în cazul reprezentat în figura 2 s-a considerat un ulei cu rigiditatea dielectrică iniţială de 120 kV/cm;

- prin intersecţia dreptei cu curba variaţiei rigidităţii dielectrice se obţine numărul de ruperi $N_{1\ corectat}$ pentru valoarea I_1 a curentului rupt.

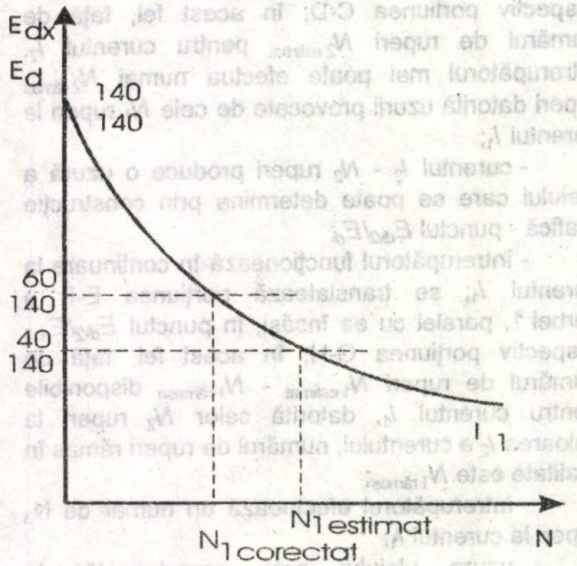


Fig.2

Valoarea corectată $N_{i\ corectat}$ se utilizează în algoritmul de însumare a uzurilor în locul valorii $N_{i\ estimat}$, unde indicele i se referă la cele *i* valori ale curenţilor I_i pe care îi rupe întrerupătorul în exploatare, între două revizii.

Pentru verificarea criteriului de însumare a uzurii, s-au efectuat probe pe un întrerupător IO-12/630 revizuit, umplut cu ulei cu rigiditatea dielectrică de 140 kV/cm.

Programul de probe a constat din:

- cincizeci de ruperi în ciclul I-D la un curent de rupere de 630 A. Rigiditatea dielectrică a uleiului a scăzut la 120 kV/cm;

- două ruperi în ciclul D-ID la un curent de rupere de 7 kA. Rigiditatea dielectrică a uleiului a scăzut la 90 kV/cm;

- cincizeci de ruperi în ciclul I-D la un curent de rupere de 630 A. Rigiditatea dielectrică a uleiului a scăzut la 80 kV/cm;

- două ruperi în ciclul D-ID la un curent de rupere de 7 kA. Rigiditatea dielectrică a uleiului a scăzut la 65 kV/cm;

- cincizeci de ruperi în ciclul I-D la un curent de 630 A. Rigiditatea dielectrică a uleiului a scăzut la 60 kV/cm;

- întrerupere în programul de probe de treizeci şi două de ore;

- două ruperi în ciclul D-ID la un curent de rupere de 7 kA. Rigiditatea dielectrică a uleiului a scăzut la 55 kV/cm;

- două ruperi în ciclul D-ID la un curent de rupere de 7 kA. Rigiditatea dielectrică a uleiului a scăzut la 50 kV/cm;

- două ruperi în ciclul D-ID la un curent de rupere de 7 kA. Rigiditatea dielectrică a uleiului a scăzut la 48 kV/cm;

- două ruperi în ciclul D-ID la un curent de rupere de 7 kA. Rigiditatea dielectrică a uleiului a scăzut la 46 kV/cm;

- două ruperi în ciclul D-ID la un curent de rupere de 7 kA. Rigiditatea dielectrică a uleiului a scăzut la 44 kV/cm. Se constată scurgeri de ulei pe lîngă bornele inferioare.

S-a considerat că probele au atins limita admisibilă a uleiului electroizolant. S-au mai efectuat, totuşi, două ruperi în ciclul D-ID la un curent de rupere de 7 kA. Rigiditatea dielectrică a uleiului a fost 42 kV/cm pe faza R, 10 kV/cm pe faza S şi 30 kV/cm pe faza T, ceea ce demonstrează că probele au fost oprite corect. În jurul bornei inferioare de pe faza S s-a constatat un strat de funingine pe o rază de aproximativ 30-40 mm. La demontare s-a constatat că vârful de contact de pe faza S a depăşit uzura admisibilă, deoarece arcul electric s-a format între zona de cupru argintat şi inelul tulipei şi a ars un timp lung, uzând excesiv inelul tulipei.

În total s-au executat paisprezece ruperi la un curent de rupere de 7 kA şi o sută cincizeci de ruperi la un curent de 630 A.

Pentru verificarea algoritmului de însumare a uzurii, se calculează, conform celor prezentate în capitolul 2, alura curbei de uzură a uleiului electroizolant pentru un curent de 630 A şi pentru un curent de 7 kA, astfel:

- pentru curentul de 630 A:

$$\frac{E_{d\ initial}}{E_{d\ final}} = e^{k\ 0,63 \cdot N\ estimat} \qquad (3)$$

$$k_{0,63} = \frac{1}{N_{estimat\ 0,63}} \cdot \ln \frac{E_{d\ initial}}{E_{d\ final}}, \qquad (4)$$

unde:

$E_{d\ iniţial} = 140$ kV/cm

$E_{d\ final} = 40$ kV/cm

Din tabelul 1:

$$N_{estimat\ 0,63} = 3,785 \cdot \left(\frac{24}{0,63}\right)^{1,329} = 477.$$

Rezultă:

$$k_{0,63} = \frac{1}{477} \cdot \ln\frac{140}{40} = 2,62 \cdot 10^{-3}$$

Se trasează caracteristica $\frac{E_{dx}}{E_{d\,initial}} = e^{2,62 \cdot 10^{-3} Nx}$, corespunzătoare curentului de 630 A, reprezentată în figura 3 prin curba A;

- pentru curentul de 7 kA:

$$\frac{E_{d\,initial}}{E_{d\,final}} = e^{k_7 \cdot N\,estimat\,7} \qquad (5)$$

$$k_7 = \frac{1}{N_{estimat\,7}} \cdot \ln\frac{E_{d\,initial}}{E_{d\,final}}, \qquad (6)$$

unde:

$E_{d\,initial}$ = 140 kV/cm;

$E_{d\,final}$ = 40 kV/cm.

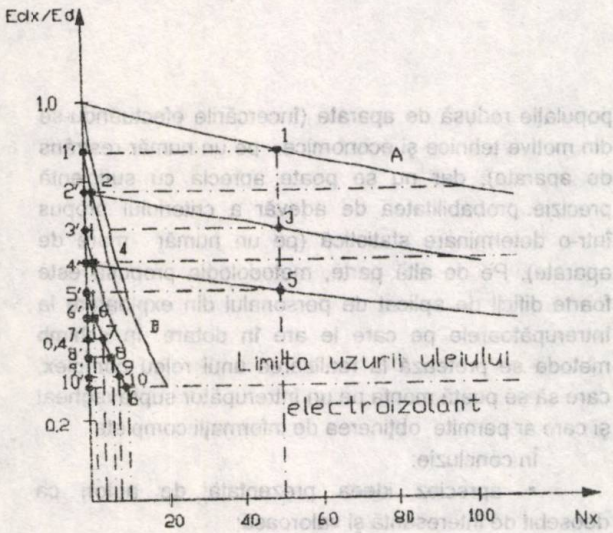


Fig.3

Din tabelul 1:

$$N_{estimat\,7} = 3,785 \cdot (\frac{24}{7})^{1,329} = 20$$

Rezultă:

$$k_7 = \frac{1}{20} \cdot \ln\frac{140}{40} = 6,3 \cdot 10^{-2}$$

Se trasează caracteristica $\frac{E_{dx}}{E_{d\,initial}} = e^{6,3 \cdot 10^{-2} Nx}$, corespunzătoare curentului de 7 kA, reprezentată în figura 3 prin curba B.

Se determină, pe curba A, punctul 1 corespunzător unui număr de cincizeci de ruperi la un curent de 630 A, căruia îi corespunde punctul 1' ca valoare a uzurii produse de aceste ruperi.

Se translatează porţiunea de curbă B situată sub dreapta 1-1' în punctul 1' şi se determină punctul 2 corespunzător unui număr de două ruperi la un curent de 7 kA. Acestui punct îi corespunde punctul 2' ca valoare a uzurii produse de aceste ruperi.

Se translatează porţiunea de curbă A situată sub dreapta 2-2' în punctul 2' şi se determină punctul 3 corespunzător unui număr de cincizeci de ruperi la un curent de 630 A. Acestui punct îi corespunde punctul 3' ca valoare a uzurii produse de aceste ruperi.

Se translatează porţiunea de curbă B situată sub dreapta 3-3' în punctul 3' şi se determină punctul 4 corespunzător unui număr de două ruperi la un curent de 7 kA. Acestui punct îi corespunde punctul 4' ca valoare a uzurii produse de aceste ruperi.

Se translatează porţiunea de curbă A situată sub dreapta 4-4' în punctul 4' şi se determină punctul 4 corespunzător unui număr de cincizeci de ruperi la un curent de 630 A. Acestui punct îi corespunde punctul 5' ca valoare a uzurii produse de aceste ruperi.

Se translatează porţiunea de curbă B situată sub dreapta 5-5' în punctul 5' şi se determină punctele 6, 7, 8, 9 şi 10 corespunzătoare fiecare la câte două ruperi la un curent de 7 kA. Acestor puncte le corespund punctele 6', 7', 8', 9' şi 10',care reprezintă valorile uzurii uleiului electroizolant corespunzătoare acestor ruperi.

Calculând rigidităţile dielectrice corespunzătoare punctelor 1'÷10' şi comparându-le cu valorile determinate experimental, se obţin rezultatele prezentate în tabelul 2.

Se remarcă:

- o concordanţă perfectă între numărul de ruperi admis între două revizii - determinat experimental şi determinat pe baza algoritmului de calcul;

- o concordanţă satisfăcătoare între valorile intermediare ale rigidităţii dielectrice măsurate şi calculate conform algoritmului.

Tabelul 2

Nr. ruperi	50	2	50	2	50	2	2	2	2	2
Curent rupt [A]	630	7000	630	7000	630	7000	7000	7000	7000	7000
E_d exp. [kV/cm]	110	90	80	65	60	55	50	48	46	44
E_d calculat [kV/cm]	122	107	95	83	73	65	54	50	44	40

Concluzii

În lucrare este prezentat un algoritm de calcul al duratei de viaţă între două revizii, la un întrerupător de medie tensiune, pentru diferite tipuri de solicitări (valori ale curenţilor rupţi).

Algoritmul a fost previzionat pe baza unor încercări efectuate în anii precedenţi pe întrerupătoare de medie tensiune solicitate la ruperea unor curenti în zona curenţilor de scurtcircuit, extins apoi în zona curenţilor nominali prin corecturile impuse de probele suplimentare efectuate.

Se prezintă de asemenea un algoritm de însumare a efectelor produse de curenţi diferiţi (în funcţionare normală şi în avarie).

Algoritmii prezentaţi sunt verificaţi satisfăcător de probele combinate efectuate în acest scop.

Toate consideraţiile prezentate în lucrare sunt valabile în cazul în care reviziile întrerupătoarelor se fac absolut corect şi la momente de timp când nu apar efecte ireversibile datorită uzurilor necontrolate (arsuri în camera de stingere, modificări ale caracteristicilor cinematice datorită uzurii resoartelor de acţionare etc.).

Referent: ing. Ion Conecini - DGTEE

(Primit la 12 decembrie 1995, acceptat la 21 ianuarie 1996)

□

Comentarii

Lucrarea se înscrie pe linia preocupărilor întreprinse pentru trecerea de la o mentenanţă corectivă la o mentenanţă predictivă, combinat cu reducerea cheltuielilor cauzate de o întreţinere neoptimizată a echipamentului.

Pe plan mondial s-au întreprins foarte multe cercetări pentru găsirea unui criteriu de însumare a efectelor uzurii la întrerupătoarele de medie tensiune cu ulei puţin, eforturi care n-au fost însă încununate de succes şi datorită faptului că s-a trecut la generaţii noi de întrerupătoare cu mentenanţă redusă (întrerupătoare în vid, cu hexaflorură de sulf etc.).

În lucrare, autorii prezintă rezultatele încercărilor efectuate de-a lungul a mai multor ani în Staţia de Mare Putere a ICEMENERG.

Pe baza prelucrării matematice a rezultatelor acestor încercări, autorii preconizează şi o metodă de estimare a efectelor uzurii şi de însumare a acestora, implicit a duratei restante de viaţă a aparatului (prin "viaţa aparatului" înţelegându-se, de fapt, timpul de funcţionare între două revizii, bazat pe ideea că o revizie restabileşte în întregime capabilităţile aparatului).

Ideea însumării are caracter de noutate, este corectă din punct de vedere tehnic cu referire la o populaţie redusă de aparate (încercările efectuându-se din motive tehnice şi economice - pe un număr restrâns de aparate), dar nu se poate aprecia cu suficientă precizie probabilitatea de adevăr a criteriului propus într-o determinare statistică (pe un număr mare de aparate). Pe de altă parte, metodologia propusă este foarte dificil de aplicat de personalul din exploatare la întrerupătoarele pe care le are în dotare. În schimb metoda se pretează la realizarea unui releu complex, care să se poată monta pe un întrerupător supravegheat şi care ar permite obţinerea de informaţii complete.

În concluzie:

- apreciez ideea prezentată de autori ca deosebit de interesantă şi valoroasă;
- apreciez că algoritmul prezentat trebuie verificat în exploatare pe un număr mare de aparate;
- numai după o verificare minuţioasă a algoritmului se pot publica rezultatele obţinute.

ing. Ion Conecini
RENEL - GTDEE

TEHNOLOGII DE DIAGNOZĂ A LINIILOR ELECTRICE ÎN CABLU

ing. CRISTIAN SORIN PISPIRIS *

Lucrarea se referă la tehnologiile de diagnoză specifice liniilor electrice în cablu, tehnologii care se fundamentează pe fenomenele electrice care au loc în sistemele de izolaţie ale liniilor electrice în cablu la aplicarea tensiunii alternative, corespunzătoare tensiunii de funcţionare. De asemenea, sunt prezentate metodele cunoscute în prezent pe plan internaţional, strategia stabilită pentru diagnoza liniilor electrice în cablu din cadrul RENEL şi metodele experimentate în laborator la ICEMENERG.

The paper refers to the diagnosis technologies which are specific to the electric lines in cables and sustained by the electric phenomena in the insulating systems of the electric lines in cable, when an alternative voltage corresponding to the operating voltage is applied.

There are also presented the present worldwide known methods, the policy for diagnosis of the RENEL's electric lines in cable and the methods tested in the laboratory within ICEMENERG.

Descriptori: diagnoză, cabluri electrice

1. Introducere

Mentenanţa reprezintă ansamblul de mijloace şi activităţi care permit menţinerea sau stabilirea stării sau funcţionării unui sistem, în cazul nostru linia electrică în cablu (LEC).

Activităţile au ca scop măsurarea parametrilor care pot oferi informaţii despre starea LEC şi luarea unei decizii corecte.

Pe lângă tronsoanele propriu-zise, linia electrică în cablu cuprinde şi alte componente importante denumite accesorii, care sunt manşoanele şi terminalele cablurilor. Aceste accesorii se confecţionează, de regulă, la faţa locului, în condiţii mult mai grele - de şantier - decât la fabrica constructoare de cabluri şi din acest motiv izolaţia lor este mai slabă decât cea a cablului propriu-zis.

Îmbătrânirea izolaţiei are loc în primul rând datorită **solicitărilor termice şi electrice de lungă durata** [7, 8], la care este supusă linia electrică în cablu pe timpul exploatării. Această îmbătrânire reprezintă un fenomen fizico-chimic complex care duce treptat la degradarea caracteristicilor electrice şi mecanice ale materialelor componente ale liniei electrice în cablu. Astfel, de exemplu, izolaţia de hârtie impregnată cu ulei, datorită acestui fenomen de îmbătrânire se carbonizează şi-şi pierde elasticitatea iniţială. Izolaţia astfel îmbătrânită nu suportă nici cele mai mici solicitări mecanice şi poate să străpungă chiar datorită unor mişcări sau trepidaţii neînsemnate de teren din zona de amplasare a liniei electrice în cablu.

Îmbătrânirea izolaţiei solide extrudate a liniilor electrice în cablu este consecinţa unor transformări chimice [9, 10, 11]. Această alterare, de natură chimică, depinde de felul materialului. La unii polimeri, datorită solicitării de lungă durată, scade gradul de polimerizare, macromoleculele se despart în particule mai mici şi materialul se înmoaie, devine lipicios şi se întinde. Această stare a izolaţiei permite deplasarea conductorului şi în consecinţă se micşorează grosimea izolaţiei, fapt ce duce inevitabil la străpungere. În alte cazuri, gradul de polimerizare creşte sau materialul se oxidează şi devine mai rigid şi izolaţia crapă. Îmbătrânirea la liniile electrice în cablu cu izolaţie din mase plastice poate fi însoţită de modificări de volum considerabile, când ciclurile de contractare-dilatare pot să creeze fisuri.

Apariţia crăpăturilor pe mantaua de cablu sau a neetanşeităţilor la accesorii duce inevitabil la pătrunderea umezelii în izolaţia liniei electrice în cablu. Apa, chiar în cantităţi mici, reduce considerabil rezistivitatea şi măreşte factorul de pierderi dielectrice

* RENEL - Grupul de Studii, Cercetări şi Inginerie - GSCI, Bucureşti

al izolaţiei. La o creştere cu 5 % a conţinutului de umezeală în izolaţia de hârtie impregnată cu ulei, rezistivitatea scade cu mai mult de trei ordine de mărime, iar tg δ creşte de câteva ori.

Ultimele cercetări [12, 13, 14, 15, 16], în acest domeniu atrag atenţia asupra unui pericol şi mai mare din punctul de vedere al reducerii duratei de viaţă a izolaţiei liniilor electrice în cablu din PVC sau PE. Acest pericol constă în *fenomenul de arborescenţă* care, în prezenţa apei (water treeing), poate să devină fatal pentru linia electrică în cablu, chiar dacă nivelul intensităţii descărcărilor parţiale măsurat la fabrica constructoare de cablu a fost neglijabil (câţiva picocoulombi).

2. Sinteza cercetărilor pe plan internaţional

Pe plan internaţional această problemă este de foarte mare actualitate, existând multe grupe de cercetare în acest domeniu. În bibliografie sunt prezentate titlurile lucrărilor în acest domeniu, listă din care rezultă o preocupare deosebită pe plan internaţional, respectiv grupe de lucru de la CIGRE.

În continuare sunt enumerate metodele utilizate de grupe de cercetare în vederea definirii unor tehnologii optime şi eficiente de evaluare a stării tehnice a unei LEC.

2.1. Metode distructive

Metodele distructive [17, 18, 19, 20, 21, 22], pentru evaluarea LEC "in situ" se fac cu prelevarea unor eşantioane din LEC şi aducerea acestora la laborator pentru analiză.

Sunt metode de analiză a evoluţiei modificărilor proprietăţilor fizico-chimice şi electrice ale materialelor izolante prin :

- analiză spectroscopie în infraroşu;
- analiză rigiditate dielectrică în trepte cu diagnoză microscopică;
- analiză la raze X;
- determinare transfer de masă de la straturile semiconductoare spre cele izolante;
- determinare conductibilitate de suprafaţă a materialului izolant;
- analiza suprafeţei dielectricului.

2.2. Metode nedistructive

Sunt în marea lor majoritate metode în curs de cercetare [23, 24, 25, 26, 27, 28]:

- încercare cu tensiune alternativă de foarte joasă frecvenţă cosinus;
- încercare cu tensiune alternativă de foarte joasă frecvenţă treaptă;
- încercare la iniţiere descărcări parţiale;
- măsurare tg δ la frecvenţe diferite, de la foarte joasă frecvenţă la frecvenţe medii;
- măsurare tensiune returnată;
- măsurare descărcări parţiale;
- încercare cu unda oscilantă amortizată;
- măsurare curent de depolarizare;

sau deja cunoscute:

- încercare cu tensiune alternativă rezonantă;
- măsurare rezistenţă de izolaţie;
- măsurare capacitate;
- încercare cu tensiune alternativă, 50 Hz;
- încercare cu tensiune continuă.

3. Fenomene electrice în sistemele de izolaţie ale LEC, la aplicarea unei tensiuni continui

Prin introducerea între doi electrozi a unui material electroizolant, la aplicarea unei tensiuni continui pe aceşti electrozi în circuitul de alimentare va lua naştere un curent electric, a cărui intensitate scade treptat în timp, iar în final se stabilizează la o valoare sensibil mai mică. Această valoare stabilizată a curentului este determinată de aşa-numitul *fenomen de conducţie* în dielectric. În plus, dacă s-ar măsura cantitatea sarcinii electrice de pe electrozi s-ar constata o creştere sensibilă a acesteia datorită materialului electroizolant, care reţine sarcini electrice suplimentare faţă de aer (vid), din cauza aşa - numitului *fenomen de polarizare* a dielectricului.

3.1. Fenomenul de conducţie

Curentul care străbate materialul electroizolant în regim stabilizat, datorită aplicării tensiunii continue pe electrozi, se numeşte *curent de conducţie*. La materialele electroizolante solide - cazul izolaţiei liniilor electrice în cablu - acest curent I_{cond} este determinat de legea lui Ohm :

$$I_{cond} = \frac{U}{R_{iz}},$$

unde :

- U este tensiunea continuă aplicată pe electrozi ;
- R_{iz} - rezistenţa de izolaţie a materialului electroizolant.

În majoritatea cazurilor *rezistenţa de izolaţie* a materialelor electroizolante solide - sistemul de izolaţie a unei LEC - se poate exprima în forma :

$$R_{iz} = \rho * \frac{l}{S},$$

unde :

ρ este rezistivitatea de volum a materialului electroizolant ;

l - dimensiunea materialului electroizolant în direcţia de scurgere a curentului ;

S - secţiunea materialului electroizolant în direcţia perpendiculară faţă de cea de scurgere a curentului.

Rezistivitatea este o caracteristică şi nu o constantă fizică a materialului electroizolant. Ea depinde de mai mulţi factori şi în primul rând de temperatura materialului electroizolant. Din acest motiv, în cadrul încercărilor, unde variaţia rezistivităţii de volum sau a rezistenţei de izolaţie poate să influenţeze rezultatele măsurătorilor, trebuie să se ia măsuri pentru corectarea datelor experimentale la aceeaşi temperatură de referinţă.

În majoritatea cazurilor conducţia în materialele electroizolante se datorează mişcării ionilor - *conductivitate ionică* - şi/sau mişcării neordonate a electronilor - *conductivitate electronică.*

Natura ionică sau electronică a mecanismului de conducţie se poate pune în evidenţă şi pe cale experimentală. Pentru conductivitatea ionică este caracteristică variaţia exponenţială a rezistivităţii de volum funcţie de temperatură, în timp ce conductivitatea electronică este mai puţin sensibilă la temperatură.

3.2. Fenomenul de polarizare

Aplicând pe doi electrozi o tensiune continuă, densitatea de sarcină electrică pe plăci va fi proporţională cu intensitatea câmpului electric dintre electrozi. Coeficientul de proporţionalitate dintre aceste mărimi, dacă între electrozi este aer (vid) este ε_o, iar densitatea de sarcină se determină cu relaţia:

$$s = \varepsilon_o * E,$$

unde :

E este intensitatea câmpului electric.

Una din cele mai importante caracteristici ale materialelor electroziolante este *permitivitatea,* care indică de câte ori creşte capacitatea datorită materialului electroizolant faţă de capacitatea în vid.

În materialele electroizolante aflate între doi electrozi apar dipoli. Aceştia constau din perechi de sarcini electrice, la care sarcina negativă şi cea pozitivă sunt deplasate una faţă de cealaltă. Pe o parte a acestor dipoli sarcinile negative, pe partea cealaltă sarcinile pozitive au influenţe preponderente, creând astfel câmpuri electrice în jurul dipolilor, deşi cele două sarcini în esenţă se echilibrează reciproc, acest fenomen se caracterizează prin *momentul dipolului,* care reprezintă produsul dintre sarcina electrică şi distanţa dintre ele. Momentele dipolilor elementari în materialul electroizolant polarizat se adună, iar rezultanta acestora raportată la unitatea de volum se numeşte *polarizare.*

În materialele electroizolante pot apărea mai multe feluri de polarizare :

- *polarizare electronică,* care ia naştere datorită câmpului electric, prin alungirea orbitelor de electroni se deplasează centrul de echilibru al celor două sarcini, formându-se un dipol ; datorită inerţiei mici a electronilor polarizarea are loc practic instantaneu, în 10^{-14} - 10^{-16} s ;

- *polarizare de orientare ionică*, care ia naştere numai în materialele electroizolante ale căror molecule sunt compuse din ioni ;

- *polarizare de orientare elastică*, care are loc în acele materiale electroizolante în care există dipoli chiar în absenţa câmpului electric, sub forma unor molecule sau particule polare permanente ;

- *polarizare de orientare termică*, care are loc în materialele electroizolante supuse în câmp electric datorită coincidenţei orientării unei părţi a dipolilor cu sensul câmpului electric; datorită mişcării termice, orientarea acestor dipoli se schimbă, ajungând la un moment dat ca o parte din ei să fie orientaţi în direcţia câmpului electric; timpul de polarizare depinde direct de temperatura materialului electroizolant ; cu cât este mai mare temperatura cu atât este mai intensă oscilaţia dipolilor şi fenomenul de polarizare se petrece mai rapid ;

- *polarizare de migrare ionică*, care se caracterizează prin aceea ca în stare neutră centrul de greutate al ionilor pozitivi şi negativi coincide; în câmp electric există însă o deplasare a acestora în sensul câmpului electric (ionii pozitivi) sau contra lui (ionii negativi) ; în final pe o parte a materialului electroizolant pot fi preponderenţi ionii pozitivi, iar pe cealaltă parte ionii negativi ;

- *polarizare interfacială*, care are loc în cadrul materialelor electroizolante stratificate (cazul accesoriilor de cabluri şi/sau cablurilor cu izolaţie de hârtie), dar şi în cazul acelora care nu formează

straturi uniforme; dacă conductivitatea şi permitivitatea acestora diferă, atunci în straturile limită se acumulează sarcini electrice de acelaşi fel; deplasarea şi acumularea sarcinilor electrice se desfăşoară în timp îndelungat, poate dura ore întregi; acumularea polarizării necesită de asemenea timp îndelungat, deoarece deplasarea sarcinii electrice are loc perpendicular pe strat, adică în direcţia conductivităţilor electrice foarte mici.

4. Fenomene electrice în sistemele de izolaţie ale LEC, la aplicarea unei tensiuni alternative

La aplicarea unei tensiuni alternative pe un material electroizolant prin doi electrozi metalici, sarcinile libere şi cele legate (pozitive şi negative) vor pendula, spre şi de la sursă, în fiecare semiperioadă. Această deplasare de sarcină va da naştere în materialul electroizolant la aşa-numitul *curent de deplasare* pe lângă *curentul de conducţie* propriu-zis.

În figura 1 este prezentată diagrama fazorială pentru curentul capacitiv I_o, curenţii pentru trei tipuri de polarizări I_{P1}, I_{P2} şi I_{P3}, respectiv curentul de conducţie propriu-zis.

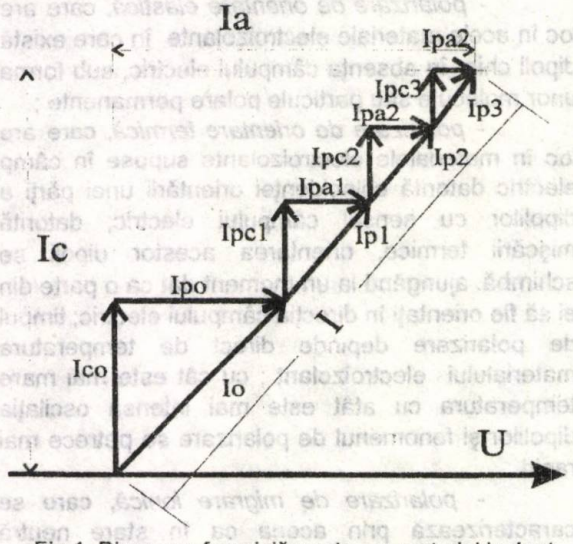


Fig.1. Diagrama fazorială pentru un material izolant supus la tensiune alternativă.

Dacă în materialul electroizolant au loc mai multe tipuri de polarizare decât în cazul prezentat în diagramă, atunci aceasta se va completa cu alte componente active şi reactive ale curentului de polarizare, corespunzător elementelor R_P - C_P care vor apărea în plus. Curentul de conducţie care străbate izolaţia şi se află în fază cu tensiunea aplicată, va completa diagrama fazorială de mai sus. Curentul rezultant se poate descompune pe o componentă capacitivă I_C, defazată la 90° înainte faţă de tensiunea aplicată şi o componentă activă I_A în fază cu tensiunea aplicată. I_C va fi de ε ori mai mic ca I_o:

$$\varepsilon = \frac{I_C}{I_o} .$$

Această relaţie se utilizează la determinarea experimentală a permitivităţii echivalente a materialului electroizolant.

Curentul rezultat nu este înaintea tensiunii cu exact 90°, unghiul de defazaj fiind ceva mai mic. Diferenţa rezultantă este determinată prin:

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{I_A}{I_C} .$$

Unghiul δ se numeşte *unghiul de pierderi dielectrice*, iar tg δ - *factorul de pierderi dielectrice*. Cele două mărimi sunt legate de pierderile dielectrice din materialul electroizolant, deoarece înlocuind componentă activă a curentului I_A pierderile din dielectric vor fi determinate în funcţie de tg δ în următorul fel :

$$P_d = \omega * U * I_A = \omega * U * I_C * \operatorname{tg}\delta .$$

Rezultă că pierderile sunt proporţionale cu tg δ. Figura 4 este valabilă pentru o frecvenţă dată şi pentru un caz concret dat (trei tipuri de polarizare). La creşterea frecvenţei componentele capacitive ale curenţilor cresc, componenta curentului de conducţie rămâne aceeaşi, iar componentele active ale curenţilor de polarizare se supun la legi de variaţie mai complexe. Creşterea temperaturii duce la mărirea curentului şi pierderilor de conducţie.

4.1. Scheme echivalente simplificate

În cazurile cele mai frecvente, izolaţia unei linii electrice în cablu, într-un circuit de încercare în curent alternativ, se poate substitui cu un condensator real echivalent, la care defazajul dintre tensiune şi curent nu este 90°. Acest condensator se poate modela cu o capacitate şi o rezistenţă ohmică.

În *schema echivalentă - serie* (fig. 2), sunt conectate în serie un condensator ideal şi o rezistenţă ohmică. Pentru această schemă echivalentă avem relaţia :

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{U_R}{U_C} = \omega * R_{iz} * C_{iz} .$$

Elementele schemei echivalente se calculează în acest caz cu relaţia :

$$R_s = \frac{U}{I} * \sin\delta; \qquad C_s = \frac{I}{\omega U} * \frac{1}{\cos\delta}.$$

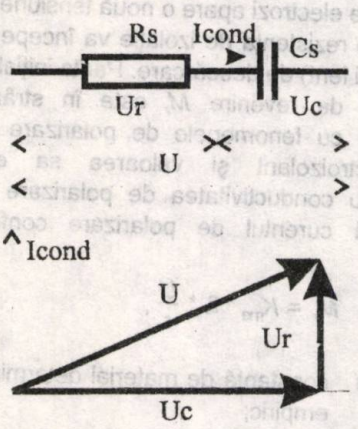


Fig.2. Diagrama fazorială şi schema echivalentă.

În *schema echivalentă* - paralel (fig. 3), curentul se divide în două componente, pentru care avem relaţiile:

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{I_g}{I_c} = \frac{1}{\omega R_p C_p}$$

$$R_p = \frac{U}{\omega I} * \frac{I}{\sin\delta}, \qquad C_p = \frac{I}{\omega U} * \cos\delta.$$

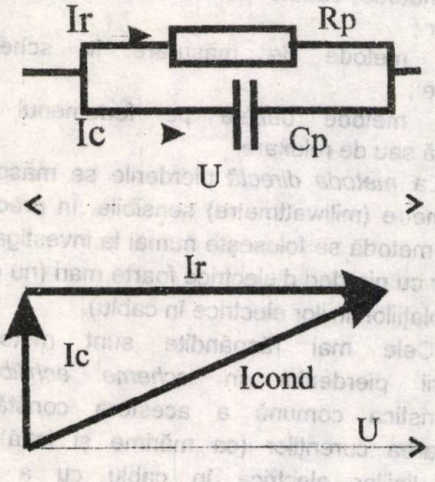


Fig.3. Diagrama fazorială şi schema echivalentă paralel.

În legătură cu schemele echivalente simplificate ale izolaţiei trebuie menţionat că ele reproduc izolaţia numai faţă de circuitul de încercare exterior la o frecvenţă dată şi nu au legătură directă cu fenomenele fizice din izolaţia liniei electrice în cablu.

5. Metode de verificare utilizând tensiunea continuă

5.1. Măsurarea tensiunii de descărcare şi a tensiunii de revenire

La aplicarea tensiunii continue pe electrozi (conductor şi ecran), în materialul electroizolant va apărea imediat un câmp electric, datorită sarcinilor libere de pe electrozi. Sarcinile însă nu ajung instantaneu pe electrozi, deoarece pentru aceasta curentul de încărcare ar trebui să fie foarte mare ($I_{inc} \rightarrow$ oo). Din acest motiv, în circuitul de încărcare se introduce o rezistenţă de protecţie. Fenomenul de încărcare se desfăşoară cu o constantă de timp T_o după o lege exponenţială :

$$T_o = R_{pr} * C_o .$$

Valoarea iniţială a *curentului de încărcare* nu depinde de natura materialului electroizolant, ci numai de valoarea rezistenţei de protecţie. Dacă valoarea lui R_{pr} se alege astfel ca T_o să fie mult mai mic decât constantele de timp ale fenomenelor de conducţie şi de polarizare, atunci fenomenul de încărcare a capacităţii C_o nu va deranja măsurătorile.

Fenomenul tranzitoriu de încărcare-descărcare este arătat în figura 4.

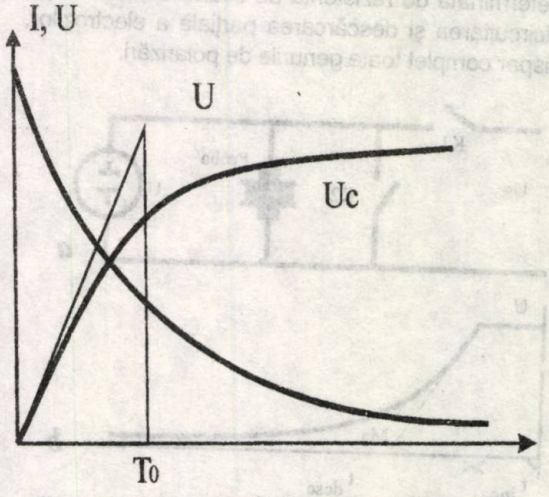


Fig.4. Variaţia tensiunii şi a curentului la o LEC conectată la o sursă de tensiune continuă.

Dacă se deconectează tensiunea continuă înaintea stabilizării, atunci anumite feluri de polarizări nu se vor desfăşura sau vor avea loc parţial.

Fenomenele de conducţie şi de polarizare din materialele electroizolante sunt reflectate prin curba tensiunii de descărcare U_a şi de revenire U_r. Dacă pe izolaţie se aplică o tensiune de încărcare

timp îndelungat t_{inc} (fig. 5a) şi apoi se deconectează sursa de tensiune, sarcina electrică de pe electrozi se va descărca prin rezistenţa de izolaţie a materialului electroizolant.

Dacă se înregistrează variaţia tensiunii (cu un voltmetru electrostatic) se va obţine curba tensiunii de autodescărcare (fig. 5b). Dacă timpul de încărcare este suficient de lung pentru dezvoltarea polarizărilor de constante mari de timp atunci panta iniţială a curbei de autodescărcare M_a va fi direct proporţională cu conductivitatea izolaţiei :

$$M_a = K_m * \gamma * \frac{U}{\omega},$$

unde :

K_m este o constanta de material determinată experimental;

γ - conductivitatea electrică ;

U - tensiunea de încărcare ;

ε_o - permitivitatea vidului.

Dacă după o încărcare îndelungată izolaţia se scurtcircuitează pentru o perioadă de timp t_{sc}, după îndepărtarea scurtcircuitului pe electrozi va apărea o tensiune de revenire (fig. 5c). Sarcinile libere şi sarcinile legate ale polarizărilor electronice se neutralizează rapid, cu o constantă de timp predeterminată de rezistenţa de scurtcircuitare. După scurtcircuitarea şi descărcarea parţială a electrozilor, nu dispar complet toate genurile de polarizări.

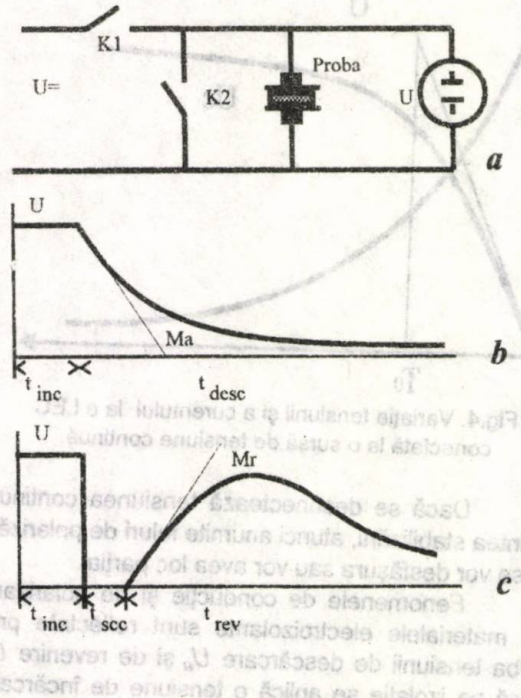


Fig.5. Fenomenul de descărcare şi de revenire:
a - schema de principiu; *b* - variaţia tensiunii de descărcare; *c* - variaţia tensiunii de revenire

Sarcinile reziduale mai rămân pe electrozi. După îndepărtarea scurtcircuitului, această sarcină se distribuie şi pe electrozi apare o nouă tensiune. În acelaşi timp prin rezistenţa de izolaţie va începe un alt fenomen (mai lent) de descărcare. Panta iniţială a curbei tensiunii de revenire M_r este în strânsă interdependenţă cu fenomenele de polarizare din materialul electroizolant şi valoarea sa este proporţională cu conductivitatea de polarizare β_p, care determină curentul de polarizare conform relaţiei :

$$M_r = K_{me} * \beta * \frac{U}{\varepsilon},$$

unde :

K_{me} este constantă de material determinată empiric;

β - conductivitate de polarizare .

6. Metode de verificare utilizând tensiunea alternativă

6.1. Măsurarea factorului de pierderi dielectrice

Pentru măsurarea pierderilor în izolaţia liniilor electrice în cablu pot fi folosite următoarele metode :

- metode bazate pe măsurarea directă a pierderilor ;
- metode de măsurare în scheme echilibrate ;
- metode bazate pe fenomenul de rezonanţă sau de relaxare.

La *metoda directă* pierderile se măsoară cu wattmetre (miliwattmetre) sensibile. În practică această metodă se foloseşte numai la investigarea izolaţiilor cu pierderi dielectrice foarte mari (nu este cazul izolaţiilor liniilor electrice în cablu).

Cele mai răspândite sunt metodele măsurării pierderilor în *scheme echilibrate*. Caracteristica comună a acestora constă în compararea curenţilor (ca mărime şi fază) din izolaţia liniilor electrice în cablu cu a unui condensator etalon cu capacitatea şi pierderile cunoscute. În acest caz, la măsurare se utilizează fie o *schemă în punte*, fie o *schemă de compensare*. Cea de a doua metodă este mai precisă şi se pretează la automatizare.

Pentru prima metodă, *schema în punte*, s-au răspândit *metoda punţii Schering* şi *metoda punţii cu braţe inductive*.

Aceste scheme sunt foarte bine cunoscute şi nu mai sunt prezentate metodele de măsurare.

Caracteristica comună a *schemelor bazate pe fenomene de rezonanţă sau relaxare* constă în introducerea liniei electrice în cablu într-un circuit oscilant L - R - C şi măsurarea gradului de dezacordare sau atenuare suplimentară datorată circuitului. Capacitatea liniei electrice în cablu modifică frecvenţa de rezonanţă a circuitului oscilant, iar pierderile dielectrice ale acesteia accentuează atenuarea. Aceste metode se folosesc în special la analiza spectrului de polarizare de peste 100 Hz. Metodele bazate pe fenomenele de relaxare pot fi utilizate pentru măsurarea capacităţii şi a factorului de pierderi dielectrice la frecvenţe joase (1 - 0,01 Hz).

Ridicarea curbei tg δ este una din cele mai raspândite metode de investigare a stării izolaţiei unei linii electrice în cablu. Date cu privire la variaţia factorului de pierderi dielectrice în funcţie de tensiune sunt cuprinse în standardele şi normele interne de produs (prinse ca încercări de tip pentru cabluri). În exploatare, de asemenea, se pot deduce informaţii utile cu privire la starea izolaţiei unei linii electrice în cablu, dar condiţiile de efectuare a măsurătorilor sunt mult mai grele şi complexe.

La o izolaţie bună, factorul de pierderi dielectrice nu variază cu creşterea tensiunii sau creşte lent ; dacă solicitarea este mai mică decât cea din exploatare , factorul de pierderi dielectrice poate chiar să scadă, dar nu reflectă real starea izolaţiei investigate. Orice alt gen de variaţie a factorului de pierderi dielectrice denotă un defect sau o degradare a izolaţei.

În figura 6, curbele 2 şi 3 indică variaţia factorului de pierderi dielectrice la izolaţii bune. Curba 1 arată că în interiorul sau pe suprafaţa izolaţiei, la o tensiune dată se amorsează descărcări puternice. La unele izolaţii (de exemplu la izolaţia din hârtie impregnată cu ulei) există cazul când valoarea factorului de pierderi dielectrice la începutul curbei este mai mic pentru izolaţiile aflate deja în exploatare faţă de unele noi. Acest fapt se datorează fenomenului de uscare a izolaţiei în condiţiile exploatării; în acest caz alveolele create între straturile de hârtie sunt cu gaz în loc de ulei. Datorită pierderilor dielectrice foarte mici ale gazelor la tensiuni sub pragul de ionizare, valoarea factorului de pierderi dielectrice poate fi mai mic decât valoarea corespunzătoare unei izolaţii noi. Abia după creşterea tensiunii, deci a valorii intensităţii câmpului electric, la amorsarea descărcărilor parţiale, va creşte brusc valoarea factorului de pierderi dielectrice.

Acelaşi efect îl are ionizarea puternică din interiorul materialului electroizolant sau de pe suprafaţa lui.

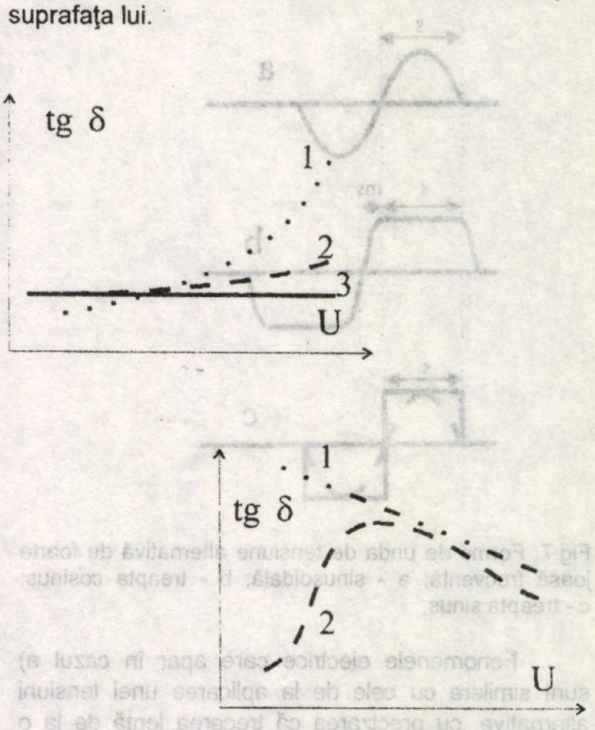


Fig.6. Variaţia factorilor de pierderi dielectrice cu tensiunea: a - izolaţie nesatisfăcătoare, curba 1; - izolaţii bune, curbele 2 şi 3; b - polarizare ionică, curba 1; în prezenţa descărcărilor parţiale, curba 2.

6.2. Verificarea cu tensiune alternativă de foarte joasă frecvenţă

Fenomenele electrice care apar în sistemele de izolaţie ale cablurilor de energie la aplicarea unei tensiuni alternative de foarte joasă frecvenţă sunt funcţie de tipul instalaţiei de producere a undei, respectiv de forma undei de tensiune, şi anume:

a) unda de tensiune de foarte joasă frecvenţă, **sinusoidală**, la care forma este sinusoidală (fig. 7.a) ;

b) unda de tensiune de foarte joasă frecvenţă, **treapta cosinus**, la care forma undei între cele două paliere de tensiune constantă este alternativă de 50 Hz, iar pe paliere este tensiune continuă de polaritate pozitivă sau negativă, (fig.7b) ;

c) unda de tensiune de foarte joasă frecvenţă, **treapta sinus**, la care trecerea de la un palier de tensiune la celălalt se face rapid, prin

absorbţia energiei înmagazinate în LEC de către instalaţia de generare a undei respective (fig. 7.c.).

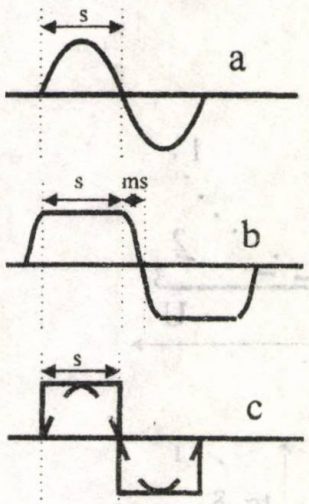


Fig.7. Forme de unda de tensiune alternativă de foarte joasă frecvenţă: a - sinusoidală; b - treapta cosinus; c - treapta sinus.

Fenomenele electrice care apar în cazul a) sunt similare cu cele de la aplicarea unei tensiuni alternative, cu precizarea că trecerea lentă de la o alternanţă la alta implică un curent de deplasare mai mic decât cel de conducţie, respectiv mai mic decât în cazul aplicării unei tensiuni alternative de 50 Hz.

Pentru cazul b) fenomenele electrice care apar sunt similare atât cu cele de la aplicarea unei tensiuni alternative de 50 Hz, pe perioda de trecere de la un palier la altul, respectiv de la o alternanţă la alta, cât şi cu cele de la aplicarea unei tensiuni continui, pe perioada palierelor de polaritate pozitivă sau negativă.

Fenomenele electrice care apar în cazul c) sunt similare cu cele de la aplicarea unei tensiuni continui, pe perioada palierelor de o anumită polaritate, iar pe perioada dintre paliere fenomenul este accelerat foarte mult şi practic curentul de deplasare care apare este absorbit de instalaţie.

În experimentarea metodelor de evaluare a stării sistemelor de izolaţie ale LEC se va utiliza metoda b), cu unda de tensiune de foarte joasă frecvenţă **treapta cosinus**, deoarece instalaţiile care vor fi aduse de GTDEE, pentru dotarea filialelor de reţele, de la firma germană HAGENUK, sunt de acest tip.

Conform experimentărilor făcute de firma HAGENUK, valorile determinate ale tensiunii şi ale duratei de aplicare, pentru verificare cu unda de tensiune de foarte joasă frecvenţă treapta cosinus, în comparaţie cu alte metode, sunt următoarele :

Denumirea metodei	Valoarea tensiunii de verificare	Durata verificării
Tensiune alternativă 50 Hz	1 x U_o	24 ore
Tensiune alternativă de foarte joasă frecvenţă	2 x U_o	1 oră
Tensiune oscilantă	4 x U_o	50 serii
Tensiune continuă	8 x U_o	0.5 ore
Tensiune continuă	10 x U_o	0.5 ore

Verificarea cu tensiune alternativă de foarte joasă frecvenţă este preconizată ca o verificare care se utilizează atât la punerea în funcţiune a unei LEC, cât şi în timpul exploatării pentru determinarea stării tehnice a unei LEC.

7. Experimentări în laborator şi in situ a metodelor de evaluare a rezervei

7.1. Schemele de principiu ale măsurătorilor efectuate

A. Măsurarea tensiunii returnate

Măsurătorile s-au executat în schema din figura 8.

Aparatajul folosit a fost :

- sursa de înaltă tensiune de curent continuu - trusă de defectoscopie mantale TDMC-5, cu următoarele caracteristici :
  - * tensiune înaltă continuă, reglabilă 0 - 5.000 V
  - * curent maxim la 5000 V 50 mA
- aparat electronic de măsură tensiune - multimetru digital cu scală de 0,01 - 10 V c.c.

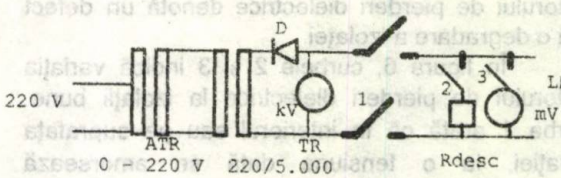


Fig.8. Schema principiului de măsură a tensiunii returnate.

B. Măsurarea curentului de depolarizare/tensiunii de descărcare

Măsurătorile s-au executat în schema din figura 9.

Aparatajul folosit a fost :

- sursa de înaltă tensiune de curent continuu - trusa de defectoscopie mantale TDMC-5 cu următoarele caracteristici :
  - * tensiune înaltă continuă, reglabilă 0 - 5000 V
  - curent maxim la 5000 V 50 mA
- aparat măsură curent depolarizare - multimetru digital cu scală de 0,1 - 100 µA c.c.

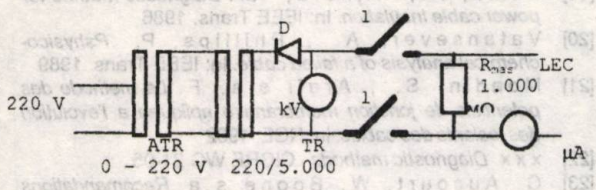


Fig.9. Schema principiului de măsură a curentului.

7.2. Tronsoanele de cabluri pe care s-au efectuat măsurătorile

Pentru efectuarea măsurătorilor s-au utilizat tronsoanele de cabluri cu accesorii (manşoane şi terminale), aduse pentru atestări la ICEMENERG de diverse firme.

Astfel au fost efectuate măsurători pe următoarele tronsoane :

- tronson A - cablu cu izolaţie de polietilenă reticulată XLPE, construcţie SIEMENS, 1 x 150 mm^2 , 12/20 kV, manşon în prelungire, terminale de interior la ambele capete ;
- tronson B - cablu cu izolaţie de polietilenă reticulată, construcţie românească şi HIU, construcţie germană, 3 x 150 mm^2 , 12/20 kV, manşon mixt, terminale de interior la cablul cu XLPE şi terminale de exterior la cablul cu HIU ;
- tronson C - cablu cu izolaţie de PVC, construcţie românească, 3 x 240 mm^2 , 3.5/6 kV, terminale de interior la capete.

7.3. Tehnologiile de măsurare utilizate

7.3.1. Măsurarea tensiunii returnate

a - se alimentează instalaţia (vezi fig. 8);

b - se închide întrerupătorul 8;

c - se creşte tensiunea înaltă continuă, prin citirea pe kilovoltmetru, prin acţionarea autotransformatorului ATR 0 - 220 V, până se atinge valoarea de 3, respectiv 5 kV ; creşterea se face cu viteza de 1 kV/3 s;

d - se menţine tensiunea de 3, respectiv 5 kV timp de 10 minute pentru realizarea tuturor polarizărilor în dielectric;

e - se desface întrerupătorul 1 şi se închide întrerupătorul 2 pe durata T_{scc} de : 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 şi 360 secunde;

f - se deschide întrerupătorul 2 şi se închide întrerupătorul 3, se măsoară tensiunea de revenire U_{rev}.

7.3.2. Măsurarea curentului de depolarizare/tensiunii de descărcare

a - se alimentează instalaţia, (vezi figura 9);

b - se închide întrerupătorul 1;

c - se creşte tensiunea înaltă continuă, prin citirea pe kilovoltmetru, prin acţionarea autotransformatorului ATR 0 - 220 V, până se atinge valoarea de 3, respectiv 5 kV ; creşterea se face cu viteza de 1 kV/3 s;

d - se menţine tensiunea de 3, respectiv 5 kV timp de 10 minute pentru realizarea tuturor polarizărilor în dielectric;

e - se desface întrerupătorul 1 şi se măsoară curentul de depolarizare.

7.4. Rezultatele măsurătorilor

S-au efectuat măsurări ale tensiunii returnate pe cele trei mostre, pentru următoarele date :

- tensiunea înaltă continuă, U_{inc}, : 3 şi 5 kV
- timpul de măsură, T_{mas}, a valorii tensiunii returnate a fost de : 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300, 360, 420, 480, 540 şi 600 secunde;
- timpul de scurtcircuit, T_{scc}, după aplicarea tensiunii înalte continue a fost de : 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 şi 360 secunde;
- rezistenţa de descărcare, R_{desc}, la scurt-circuitare, a fost de: 100, 500, 1.000, 2000, 5000 şi 10000 ohmi.

8. Stabilirea criteriilor şi metodelor de experimentat în România şi concluzii

Analiza criteriilor şi metodelor pentru atestarea şi evaluarea liniilor electrice în cablu utilizate în alte ţări, a condus la stabilirea strategiei în acest domeniu pentru România, ţinând cont de :

- experienţa altor ţări;
- situaţia tehnico - economică a laboratorului din cadrul RENEL- GSCI şi a RENEL - GTDEE;
- caracteristicile LEC specifice din România.

În acest sens s-au stabilit următoarele metode de experimentat pe LEC din România :

a - măsurare curent de depolarizare/tensiune de descărcare;

b - măsurare tensiune returnată;

c - măsurare tg δ;

d - verificare cu tensiune alternativă de foarte joasă frecvenţă.

Criteriile de evaluare a stării unei LEC se vor stabilii după experimentarea metodelor stabilite, pe baza următoarelor condiţii :

- să poată fi accesibile la orice filială, eventual cu o dotare suplimentară minimă faţă de cea existentă ;
- să fie centralizate datele experimentelor şi la nivel de DGTDEE (GSCI) pentru a se putea realiza arhiva de date şi respectiv prelucrarea statistică a datelor ;
- să fie cuprinse în cadrul unei instrucţiuni de urmărire şi evaluare a stării tehnice a unei LEC.

BIBLIOGRAFIE

[1] Argaut, P., Dejean, P. M. *Cables isoles moyenne, haute et tres haute tension* s.a In: RGE, 1992

[2] x x x *Experience en service et perspectives d'evolution du cable de reseau moyenne tension.* In: RGE, 1984

[3] x x x *Gradient de service des cables HT et THT a isolant extrudé et son effet* In: RGE, 1990

[4] x x x *Fiabilité et le developpement vers les hautes tensions des cables a isolation synthetique.* In: CIGRE, Gr. 21, 1968

[5] Caillot, C., Auclair, H. *Etude de PE pour cable haute tension.* In: RGE, 1972

[6] Muller, K. *Zum langzeinerhalten neuer VPE-Kabel unter feuchteeinwirkung.* In: Electrizitatswirttschaft, 88, 1989
[7] Mashikian, M. , Groeger. J. *Ageing phenomena at cable shield interfaces affecting the propensity of insulation to develop water trees.* In: RGE, 1992
[8] Land, H. , Schadlich. H. *Model cable test for evaluating the ageing behaviour under water influence of compounds for medium voltage cables* . In: RGE, 1992
[9] T. Tanaka, M. Watanabe. s.a. *Detecting the breakdown causes of XLPE cable by PPD method* . In: RGE, 1992
[10] x x x *Investigations to establish links between oxidation processe, ion penetration and water tree growth in low density polyethylene* . In: RGE, 1992
[11] Matsuura, K., *Investigation on deterioration of 22 to 66 kV XLPE cables removed from actual service lines.* In. JICABLE 1987
[12] M. Saure, W. Kalkner s.a. On water tree testing of materials and systems. CIGRE, 1990
[13] Oonishi, H. *Development of new diagnostic method for hot-line* . In: XLPE cables with water trees. CIGRE 19871990.
[14] Franke, E., Stauffer, R. s.a. *Water tree growth in PE under DC voltage stress.* In: JICABLE - 1984
[15] Eichhorn, R.M. , Schadlich, H. s.a. *Longer life cables by use of tree retardant XLPE insulation and supersmooth shields.* In: JICABLE 1991
[16] x x x *Dielectric diagnosis of electrical equipment for ac application and its effect on insulation coordination* . In: CIGRE Report 1991
[17] Ashcraft, A.C. Eichhorn, R.M. Method for visualisation of water trees by staining. In: IEEE Trans. 1988
[18] A. Nakajima.*Development of a hot line diagnostic method for XLPE cables and the measurments results.* In: IEEE Trans. 1989
[19] Soma, K., Ajhara, M. *Diagnostic method for power cable insulation.* In: IEEE Trans. 1986
[20] Vatansever, A , Phillips, P. *Pshysico-chemical analysis of a failed cable.* In: IEEE Trans. 1989
[21] Mondin, S. , Arefi s.a, F. *La methode des potentiels de jonction membranaire apliquee a l'evolution des isolants des cables.* In: RGE, 1992
[22] x x x *Diagnostic methods.* CIGRE WG 21-05
[23] C. Aucourt, W. Boone s.a. *Recomandations pour un nouvel essai apres pose des liaisons haute tension par cables a isolation extrude.* In: CIGRE, 1990, Gr. 21
[24] H. Auclair, W. Boone s. a. *Develooement d'une nouvelle methode d'essai apres pose des liaisons de cable haute tension.* In: CIGRE, 1988, Gr. 21
[25] *Essais sur site de cables a isolation gazeuse comprimee pour tension alternative* - ELECTRA, 1988
[26] Farneti, F., Ombello, F. *Generation d'ondes oscilantes pour l'essai aprés pose de liaisons HT en cable a isolation extrude.* In: CIGRE, 1990
[27] Bautz, R. , Krahenbuhl , F. s. a. *Use of after laying test methods for the evaluation of the ageing of MV cables.* In: RGE, 1992
[28] Srinivas, N.N. , Bernstein, B.S. s.a. *Effects of DC testing on AC breakdown strength of XLPE insulated cablea.* In: IEEE Trans.1988
[29] E. Jackle. *Prufung von kabelanlagen mit resonanz prufung von kabelanlagen mit resonanz prufgeraten.* In: Electrizitatswirttschaft 86 , 1987

Referent: ing. Răzvan Bădan - RENEL - GTDEE

(Primit la 6 decembrie 1995, acceptat la 22 ianuarie 1996)

Recenzie

VANDEPLANQUE, P. L'eclairage - notions de base - project d'installations. (Iluminatul - noţiuni de bază - proiecte de instalaţii). Ed. TEC - DOC - LAVOISIER, Londra - Paris - New York, 1993

Lucrarea se adresează inginerilor şi tehnicienilor nespecializaţi în domeniul luminotehnicii şi este un ghid pentru toţi acei care vor să se familiarizeze în modul cel mai simplu cu tehnica iluminatului.

Autorul lucrării recenzate, Patrick Vandeplanque, este conferenţiar la Universitatea din Artois. Conţinutul lucrării este structurat în cinci părţi:

Partea I, *Fotometria*, în care autorul defineşte undele electromagnetice şi descrie proprietăţile acestora, prezintă ochiul uman şi modul cum acesta receptează lumina. Tot în acest capitol sunt definite mărimile fotometrice şi culoarea surselor.

Partea a II-a, *Aparate*, cuprinde patru subcapitole: a) lămpile cu incandescenţă, b) lămpile ce descărcări în gaze, c) lămpile fluorescente şi un ultim subcapitol, d) privind corpurile de iluminat în care se insistă asupra problemelor legate de modul de reparartizare a fluxului luminos.

Partea a III-a, *Iluminat interior*. Intr-un prim subcapitol al acestei părţi este prezentată o metodă de predimensionare a instalaţiei de iluminat urmată de o verificare a condiţiilor de confort. Sunt date câteva exemple de soluţii adoptate în încăperi cu diverse destinaţii (cafenea, sală de clasă, atelier, sală de recepţie etc.).

Partea a IV-a, *Iluminat exterior*, în care sunt prezentate noţiuni de bază privind iluminatul public, predimensionare - verificare şi, în continuare, soluţii adoptate pentru diverse terenuri sportive în aer liber: teren de tenis (concepţie şi calcul).

Partea a V-a, tratează "in extenso", câteva probleme de bază necesare unei corecte interpretări a aspectelor aplicative.

as. ing. Hrisia Moroldo,
prof. dr. ing. Cornel Bianchi

P.S. Lucrarea poate fi consultată la redacţia revistei ENERGETICA sau la biblioteca GSCI.

CONTENTS

CORNELIU PÂSLARU: Editorial 3
ROXANA PALADE, VICTOR TEODOROIU, MARIAN VLĂDESCU: Computer assisted diagnosis utilising conditions to steam turbines 4 - 10
DAN ZLATANOVICI: Procedures for "on line" monitoring and diagnosis, data management and predictive maintenance to high power electric generators 11 - 19
FILIP ENGSTER, HORAŢIU SPINOCHE, VLADIMIR BERZAN: Diagnosis of the electric machines stator insulation 20 - 26
ION CONECINI, CORNELIU PÂSLARU, CONSTANTIN RADU: Romanian Eneggy Transmission and Distribution Group point of view on the transition from the preventive maintenance to the one based on reliability 27 - 30
CRISTIAN FEZI, MIRCEA SILAGHI, SORIN PICIU, CRISTIAN BUDU, NISTOR NICA: Technology for locating the overhead line defects utilising tracesable infrared thermography from helicopter 31 - 37
EUGEN MIHALCEA, LUCIAN CIUPULIGA: Assessing the optimum schedule for inspections to the medium voltage low oil circuit breakers 38 - 44
CRISTIAN SORIN PISPIRIS: Diagnosis of energy cables 45 - 54

NEWS 26

REVIEW
CORNEL SFETCU, CORNEL BIANCHI : x x x Philips Lighting Manual, Eindhoven, 1993 10, 19
ADRIANA GEORGESCU, CORNEL BIANCHI: x x x History of Light and Lighting, Eindhoven, 1986 37
HRISIA MOROLDO, CORNEL BIANCHI : Vandeplanque, P. L'eclairage - notions de base - project d'installations. Ed. TEC - DOC - LAVOISIER, Londra - Paris - New York, 1993 54

SOMMAIRE

CORNELIU PÂSLARU: Editoriali 3
ROXANA PALADE, VICTOR TEODOROIU, MARIAN VLĂDESCU: Le diagnostic assisté par ordinateur et les conditions de réalisation pour les installations de turbines a vapeur 4 - 10
DAN ZLATANOVICI: Procédures de surveillance et diagnostic "on-line", gestion des données et maintenance prédictive des gros alternateurs électriques 11 -19
FILIP ENGSTER, HORAŢIU SPINOCHE, VLADIMIR BERZAN: Méthodes de diagnostic de l'état des isolations statoriques des machines électriques 20 - 26
ION CONECINI, CORNELIU PÂSLARU, CONSTANTIN RADU: La conception du Groupe pour le Transport et la Distribution de l'Électricité (GTDEE) concernant le passage de la maintenance préventive vers la maintenance basée sur la fiabilité 27 - 30
CRISTIAN FEZI, MIRCEA SILAGHI, SORIN PICIU, CRISTIAN BUDU, NISTOR NICA: Technologie pour dépister de l'hélicoptere les contacts en défaut des lignes aériennes par la thermographie en infrarouge 31 - 37
EUGEN MIHALCEA, LUCIAN CIUPULIGA: Estimation de la fréquence optimum des révisions des disjoncteurs moyenne tension a faible volume d'huile 38 - 44
CRISTIAN SORIN PISPIRIS: Techniques de diagnostic des lignes électriques en câble 45 - 54

INFORMATIONS 26

COMPTES RENDUS
CORNEL SFETCU, CORNEL BIANCHI : x x x Philips Lighting Manual, Eindhoven, 1993 10, 19
ADRIANA GEORGESCU, CORNEL BIANCHI: x x x History of Light and Lighting, Eindhoven, 1986 37
HRISIA MOROLDO, CORNEL BIANCHI : Vandeplanque, P. L'eclairage - notions de base - project d'installations. Ed. TEC - DOC - LAVOISIER, Londra - Paris - New York, 1993 54

INHALT

CORNELIU PÂSLARU: Leitartikel 3
ROXANA PALADE, VICTOR TEODOROIU, MARIAN VLĂDESCU: Rechnergestuetzte Diagnostik - Anwendungsbedingungen in den Dampfturbinenanlagen 4 - 10
DAN ZLATANOVICI: On Line - Prozeduren zur Ueberwachung, Diagnostik, Datenverwaltung und praediktiven Instandhaltung fuer Großleistungs-kW-Generatoren 11 - 19
FILIP ENGSTER, HORAŢIU SPINOCHE, VLADIMIR BERZAN: Methoden zur Diagnostik des Statorisolationszustandes elektrischer Maschinen 20 - 26
ION CONECINI, CORNELIU PÂSLARU, CONSTANTIN RADU: Das Konzept der GTDEE zum Uebergang von der vorbeugenden auf eine lebensdauergenundene Instandhaltung 27 - 30
CRISTIAN FEZI, MIRCEA SILAGHI, SORIN PICIU, CRISTIAN BUDU, NISTOR NICA: Technologie zur hubschraubergestuetzten Ortung schadhafter Kontakte an elektrischen Freileitungen mittels IR-Thermographie 31 - 37
EUGEN MIHALCEA, LUCIAN CIUPULIGA: Einschaetzung des optimalen Revisionsturnusses oelarmer MS-Schalter 38 - 44
RISTIAN SORIN PISPIRIS: Diagnostik-Technologien fuer elektrische Kabelleitungen 45 - 54

INFORMATIONEN 26

REZENSIONEN
CORNEL SFETCU, CORNEL BIANCHI : x x x Philips Lighting Manual, Eindhoven, 1993 10, 19
ADRIANA GEORGESCU, CORNEL BIANCHI: x x x History of Light and Lighting, Eindhoven, 1986 37
HRISIA MOROLDO, CORNEL BIANCHI : Vandeplanque, P. L'eclairage - notions de base - project d'installations. Ed. TEC - DOC - LAVOISIER, Londra - Paris - New York, 1993 54

СОДЕРЖАНИЕ

КОРНЕЛЮ ПЫСЛАРУ: Редакционная статья 3
РОКСАНА ПАЛАДЕ, ВИКТОР ТЕОДОРОЮ, МАРИАН ВЛЭДЕСКУ: Автоматизированное диагностирование - условия своего реализации для паротурбинных установок 4 - 10
ДАН ЗЛАТАНОВИЧ: Процедуры on-line для контроля и диагностирования, управление данными и обслуживание с целью прогнозирования для электрогенераторов высокой мощности 11 - 19
ФИЛИП ЭНГСТЕР, ХОРАЦЮ СПЫНОКЕ, ВЛАДИМИР БЕРЗАН: Методы диагнозы состояния изоляции статоров электрических машин 20 - 26
ИОН КОНЕЧИНИ, КОРНЕЛЮ ПЫСЛАРУ, КОНСТАНТИН РАДУ: Концепция Группы по Транспорту и Распределению Электроэнергии (ГТРЭЭ) в связи с переходом предварительного обслуживания в надёжное обслуживание 27 - 30
КРИСТИАН ФЕЗИ, МИРЧЕА СИЛАГИ, СОРИН ПИЧУ, КРИСТИАН БУДУ, НИСТОР НИКА: Технология обнаружения дефектных контактов электрических воздушных линии термографией инфракрасного излучения с вертолёта 31 - 37
ЕУДЖЗЕН МИХАЛЧЕА, ЛУЧИАН ЧУПУЛИГА: Оценка оптимальной периодичности ремонтов средневольтного маломасляного выключателя 38 - 44
СОРИН ПИСПИРИС: Технологии диагностирования кабельных линии электропередачи 45 - 54

ИНФОРМАЦИИ 26

РЕЦЕНЗИИ
КОРНЕЛ СФЕТКУ, КОРНЕЛ БИАНКИ: x x x Philips Lighting Manual 10, 19
АДРИАНА ДЖЕОРДЖЕСКУ, КОРНЕЛ БИАНКИ: x x x History of Light and Lighting 37
ХРИСИЯ МОРОЛДО, КОРНЕЛ БИАНКИ: Vandeplanque P. "L'eclairage - notions de base - project d'installations 54

Atragem atenţia cititorilor că începând cu data de 1 decembrie 1995 s-a înfiinţat Grupul de Studii, Cercetări şi Inginerie - G.S.C.I., care a preluat şi activităţile fostului ICEMENERG. În consecinţă, în articole acronimul ICEMENERG se înlocuieşte cu acronimul G.S.C.I.

ORSZÁGOS MŰSZAKI INFORMÁCIÓS KÖZPONT ÉS KÖNYVTÁR 1883

Colegiul de Redacţie a aprobat în şedinţa din 29 noiembrie 1995 temele pentru mesele rotunde care se vor organiza în cursul anului 1996

SeriaA

1. Ameliorarea performanţelor echipamentelor termoenergetice
2. Informatizarea şi conducerea proceselor din centralele termoelectrice
3. Surse regenerabile de energie, stadiu actual şi perspective
4. Gestiunea căldurii în sistemele de alimentare urbană
5. Creşterea eficienţei utilizării energiei electrice şi termice
6. Politici durabile în domeniul termoficării în România
7. Modelarea şi simularea proceselor termo-hidraulice din centralele electrice

Seria B

1. Legea energiei. Politici şi strategii în domeniul energiei
2. Probleme economice. Optimizarea funcţionării reţelelor
3. Producerea energiei electrice în unităţi dispersate
4. Teoria reţelelor
5. Tehnologii electrice de utilizare a energiei
6. Centre de control. Sisteme EMS/SCADA
7. Modelarea componentelor pentru studiile de sistem (inclusiv FACTS)

La întocmirea propunerilor de articole autorii sunt rugaţi să ţină seama de această tematică.

Publicăm mai jos temele pentru sintezele bibliografice aprobate de Colegiul de Redacţie pentru revista ENERGETICA pe anul 1996

I. SERIA A

1. Noi soluţii tehnologice pentru arderea combustibililor solizi şi pentru micşorarea sau evitarea poluării
2. Soluţii şi performanţe tehnologice pentru cicluri suprapuse gaze-abur
3. Soluţii proiectate şi aplicate pentru introducerea inteligenţei artificiale în centralele electrice
4. Tehnologii perfomante la izolarea termică a conductelor şi recipienţilor din centrale. Managementul pierderilor de căldură
5. Soluţii şi performanţe tehnologice pentru introducerea izolaţiei termice în clădiri, climatizare
6. Stadiu şi performanţe în domeniul centralelor hidroelectrice. Centrale de pompaj
7. Filiera CANDU în lume. Realizări, experienţe
8. Reciclarea deşeurilor (zguri, cenuşi, deşeuri radioactive)

II. SERIA B

1. Concepte noi, strategii şi soluţii privind conducerea prin dispecer a sistemelor electroenergetice
2. Tehnologii noi bazate pe inteligenţa artificială în conducerea sistemelor electroenergetice a reţelelor şi staţiilor regionale, urbane etc. Implicaţii economice
3. Tehnologii privind transmisiile prin cabluri din fibre de sticlă. Aplicaţii în energetică
4. Izolaţia din materiale plastice la cabluri. Studiu, rezultatele experienţei anilor de exploatare
5. Performanţa aparatajului de comutaţie din staţiile electrice. Studiu, noutăţi
6. Sisteme de tarifare în lume. Comparaţia principalelor sisteme
7. Transportul în CC în lume. Stadiu, perspective
8. Transformatoare, generatoare electrice. Stadiu tehnologic. Perspective (izolaţie, răcire, protecţie etc.)

Cei ce doresc să se angajeje la întocmirea unor astfel de sinteze sunt rugaţi să se adreseze la redacţia revistei pentru lămuriri asupra conţinutului şi condiţiilor

Romania
RENEL
Romanian Electricity Authority

MINISTRY of INDUSTRIES

MINISTRY of RESEARCH and TECHNOLOGY

GSCI

ROMANIAN NATIONAL COMMITTEE of the WORLD ENERGY COUNCIL

Every 2 years we organize the most important event of the Romanian power engineering community with the benefit of an international participation

NATIONAL ENERGY CONFERENCE - CNE '96

September 2-5, 1996
Neptun, ROMANIA

"Improving Energy Efficiency in a Transition Economy"

CONFERENCE SECTIONS

1. Energy Policies and Strategies. Financing of energy industries.
2. Clean and Efficient Fossil Fuel Technologies. Renewables.
3. Rehabilitation/Retrofitting of Energy Facilities :
   a) electric power plants
   b) networks
4. Nuclear Energy.
5. Predictive and Preventive Maintenance Technologies for Energy Equipment.
6. Management and Process Information Systems.
7. Environment Conservation.
8. Energy Uses.

In the Program:

- Plenary session and sections
- Poster sessions
- Round tables
- Screening of technical and advertising films
- Exhibition
- Associated events :

a) ***"Balkan Energy Industries. Trends and Goals"*** Symposium
b) USA - Romania Seminar on ***"Technical and Economic Impacts of Open Transmission Systems"***
c) Meeting of the Central and East European Group of the WEC - W/E Program

Further information and documentation available from :

the CNE '96 Secretariat
c/o GSCI
8, Energeticienilor Blvd.
79619 Bucharest 3, Romania
Tel : + 401 321 44 65
Fax : + 401 321 44 65
+ 401 321 10 10

Contact persons :
Mr Corneliu Stefanescu / Mrs Justina Nicolau

With the kind support of :
Synergy Programme (DGXVII) of EC
USAID through USEA's UPP

E 2039/A
FF8 000000 068330

2 ENERGETICA

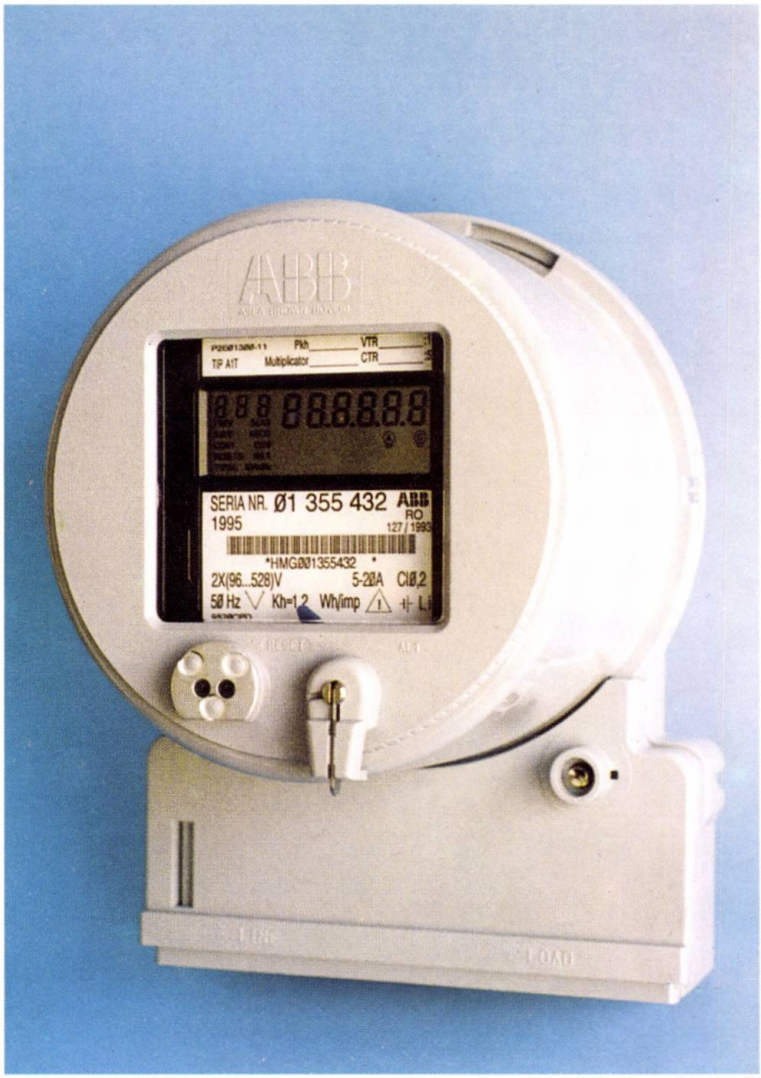
SERIA B

GSCI

e

MARTIE-APRILIE 1996

ENERGETICIENI PROTEJAȚI NATURA!



If you want to be sure you must take measure

ABB Energoreparaţii Romania Ltd.
Bucharest

ABB Power T&D Ltd.
Bucharest

ABB Rometrics Ltd.
Timişoara

ABB Romania Ltd.
16, Ion Cîmpineanu street
70100 Bucharest

ABB

INFORMÁCIÓS KÖNYVTÁR 1883 ORSZÁGOS MŰSZAKI KÖZPONT ÉS

ENERGETICA

REVISTA DE SPECIALITATE
A ENERGETICIENILOR
DIN ROMÂNIA

ANUL 44 | Nr.2, SERIA B | MARTIE - APRILIE 1996

ISSN 1220 - 5141

Număr special "Compatibilitatea electromagnetică"

Revista ENERGETICA a fost înfiinţată în anul 1953, continuând tradiţia vechilor publicaţii inginereşti care au avut preocupări în domeniul energiei ca, de exemplu:
- Diaru pentru vulgarizarea ştiinţelor naturale şi fizice (1870 - 1882);
- Buletinul Societăţii Politehnice (1887 - 1944);
- Buletinul Asociaţiei Generale a Inginerilor din România - AGIR (1919 - 1946);
- ENERGIA, editată de ing. Dumitru Leonida (1921);
- Buletinul Asociaţiei Producătorilor şi Distribuitorilor de Energie Electrică - APDE (1932 - 1944);
- Buletinul Institutului Român de Energie - IRE (1933 - 1944)

Opiniile exprimate în articolele publicate în revista ENERGETICA aparţin autorilor acestora.

Orice reproducere integrală sau parţială, prin indiferent ce procedeu, a materialelor apărute în revista ENERGETICA poate fi făcută numai cu aprobarea biroului de redacţie. Sunt autorizate numai citările destinate lucrărilor ştiinţifice şi volumelor în care acestea sunt inserate .

Revista apare alternativ în două serii :
- seria A, care tratează probleme de surse de energie, conversie de energie, poluare a mediului înconjurător, utilizare a căldurii etc.;
- seria B, care tratează probleme electrice, inclusiv ale centralelor electrice, staţiilor electrice, ale liniilor de transport şi distribuţie a energiei electrice , sisteme electroenergetice etc.
Fiecare serie are 6 numere pe an .

CUPRINS

DORIN CRISTESCU, LAURENŢIU GOIA: Masă rotundă "Compatibilitatea electromagnetică" 59
DORIN CRISTESCU, MARILENA UNGUREANU: Nivelul perturbaţiilor în LEA din România . Aspecte statistice şi practice 60
ROMULUS SFICHI: Optimizarea costului unei instalaţii de filtrare - compensare pentru receptoare inductive şi deformante 65
CARMEN GOLOVANOV, NICOLAE GOLOVANOV, AURELIAN CALOTOIU: Aparatele electrocasnice - surse de poluare armonică 70
MARILENA UNGUREANU, CORNEL TOADER, STEFANIA IOAN, RADU POPA, MIRCEA SCURARIU: Perturbaţii electromagnetice produse de consumatorii racordaţi la reţelele de joasă şi medie tensiune. Efectul utilizării tehnologiilor moderne la consumatori 77
VIRGIL GOLUMBEANU, PAUL SVASTA, NOROCEL-DRAGOŞ CODREANU: Subansambluri de placă de cablaj imprimat - PCB (Printed Cables Board) cu compatibilitate electromagnetică ridicată a liniei de alimentare 85
ION CONECINI, NICOLAE GOLOVANOV, ION LUNGU, STEFAN GHEORGHE: Aspecte privind calitatea energiei electrice şi monitorizarea acesteia 91

INFORMAŢII
ANDREI MARINESCU, SILVIA POPESCU: Activitatea laboratorului de înaltă tensiune LIT - ICMET Craiova în domeniul compatibilităţii electromagnetice 97

PRIMIM DE LA COMITETUL MEMBRU ROMAN AL UNIPEDE
x x x Conferinţe organizate de UNIPEDE în anul 1996 69

PRIMIM DE LA PROGRAMUL SYNERGY 100

Our review publishes ADVERTISMENTS for your PRODUCTS, TECHNOLOGIES, SERVICES, etc.

Please, contact us at the address:
Revista ENERGETICA
GSCI, B-dul Energeticienilor nr.8,
Bucureşti III, RO 79619
Phone : (401)322 06 92 ; (401)321 69 66/251
Fax: (401)321 10 10
Telex: 10783

COLEGIUL DE REDACŢIE

BIROUL: dr . ing. Eugeniu PAVEL - preşedinte, redactor-şef; dr. ing. Jean CONSTANTINESCU - redactor-şef adjunct; prof. dr. ing. Dumitru Cezar IONESCU - redactor-şef adjunct; ing. Vasile RUGINĂ - secretar de redacţie; ing. Radu OPINCARU; ing. Ion CONECINI; ing. Vladimir CONSTANTINESCU; conf. dr. ing. Virgil MUŞATESCU ; ing. Dan GHEORGHIU; ing. Nicolae NICULESCU; ing. Mihai NICOLAU; dr. ing. Ioan GANEA

MEMBRI: conf. dr. ing. Florin ALEXE; ing. Ovidiu APOSTOL; prof. dr. ing. Victor ATHANASOVICI; prof. dr. ing. Adrian BADEA ; prof. dr. ing. Cornel BIANCHI; ing. Paul CARTIANU; ing. Mircea CÂRDU; ing.Radu CONSTANTIN; prof. dr. ing. Dorin CRISTESCU; prof. dr. ing. Nicolae DĂNILĂ; dr. ing. Laurenţiu GOIA; prof dr. ing. Nicolae GOLOVANOV ; prof. dr. ing. Dumitru IVAS; prof. dr. ing Aureliu LECA; dr. ing. Gheorghe LUCA; dr. ing. Magdalena MATEI; ing. Cornel MOŢIU; prof. dr. ing. Costin MOŢOIU ; prof. dr. ing. Constantin NEAGA; prof. ing. Mircea NEMEŞ; prof. dr. ing. Valeriu NISTREANU; ing. Cornel PÂSLARU; prof. dr. ing. Alexandru POEATĂ; dr. ing. Marius POMÂRLEANU; prof. dr. ing. Florin POP; dr. ing. Teodor POPA; dr. ing. Anca POPESCU; ing. Miron POPESCU; conf. dr. ing. Petre POSTOLACHE; dr. ing. Dan Ion PREDOIU; ing. Radu REGMAN; ing. Gabriel ROMAŞCU; ing. Anton ROŞU ; ing. Margarios SALGIAN; ing. Alexandru SĂNDULESCU; ing. Emilian SIMIAN; ing. Cristian TOTOLO; ing. Anton VLĂDESCU

Redactor : Ana Maria CHIVU

Tiparul executat la GSCI

Redacţia şi administraţia: GSCI, B-dul Energeticienilor nr.8, sector 3, CP 79619, Bucureşti
Telefon: (401)322 06 92; (401)321 69 66/251; Telex : 10783; Fax: (401)321 10 10

Editorial

Conceptul de compatibilitate electromagnetică (CEM în franceză şi română, EMC în engleză) a apărut în SUA în jurul anilor 1960 - 1965 la începuturile astronauticii şi comunicaţiilor spaţiale, domenii în care se folosesc circuite electronice de mare sensibilitate.

Scopul acestui domeniu, considerat ca punte între energetică şi informatică, este acela de a studia cauzele producerii unor perturbaţii mai puţin cunoscute până acum, ale modului lor de propagare şi ale mijloacelor de limitare sau suprimare.

Dintre fenomenele notorii considerate acum ca făcând parte din obiecte de studiu în cadrul "CEM" se citează declanşarea reţelelor electrice din insula Hawai în cazul unei explozii nucleare de mare înălţime şi cel al perturbării electronicii de comandă a focului la rachetele sol-aer în cadrul războiului din Liban. Mai frecvente sunt cele provocate de fenomenele naturale de trăsnet asupra avioanelor în zbor sau asupra instalaţiilor, dar şi cele caracteristice fenomenelor artificiale date de câmpurile electromagnetice ale reţelelor electrice.

"CEM" traduce aptitudinea echipamentelor sau/şi sistemelor de a funcţiona satisfăcător în mediul lor electromagnetic, fără a produce ele însele perturbaţii electromagnetice intolerabile în acest mediu. Scopul preocupărilor legate de disciplina compatibilităţii electromagnetice este acela de a asigura compatibilitatea funcţionării aparatelor sau componentelor sensibile într-un mediu înconjurător perturbator din punctul de vedere al influenţelor electromagnetice.

Un mare număr de publicaţii au în cuprinsul lor acest subiect şi multe manifestări tehnico-ştiinţifice recente s-au organizat în jurul acestei tematici. Numeroase organisme internaţionale ca CIGRE (Comitetul de studiu 36), CIRED, CEI şi-au propus ca preocupări preferenţiale compatibilitatea electromagnetică şi aspectele conexe. Mai mult, se întrevede necesitatea normării unor mărimi legate de coexistenţa între diferitele instalaţii electroenergetice - în cadrul unor standarde europene de compatibilitate. Numeroasele exemple prezentate mai sus au motivat organizarea, de către Colegiul de Redacţie al revistei ENERGETICA, unei mese rotunde cu acest subiect, în care să se dezbată compatibilitatea electromagnetică şi stadiul acestei problematici în România.

Tematica acestei manifestări a fost acoperită de materiale cu următoarele subiecte:

- calitatea energiei electrice, calitatea tensiunii, indici de calitate;
- câmpul electric/magnetic/electromagnetic şi efectele sale perturbatoare; prevederi şi norme internaţionale;
- perturbaţii provocate de sistemele şi echipamentele electromagnetice în mediul înconjurător şi în instalaţile energetice .

Lucrările prezentate în cadrul mesei rotunde au fost deosebit de actuale şi de mare interes. Deşi n-au acoperit în totalitate tematica compatibilităţii electromagnetice cele 17 lucrări s-au axat pe profilul întrunirii, fiind urmărite şi dezbătute cu deosebit interes de cei aproape 40 de specialişti energeticieni, electricieni şi electronişti - autori, referenţi şi participanţi la discuţii.

Cele mai actuale dintre lucrările dezbătute au fost cele legate de calitatea energiei- domeniu în care prof. dr. ing. A. Ţugulea, m.c. al Academiei, a făcut o expunere de înaltă elocinţă şi ţinută ştiinţifică, iar ceilalţi autori şi coautori au avut contribuţii de evoluat nivel profesional. Lucrări deosebit de interesante au fost cele legate de nivelul armonicilor produse de noile aparate casnice, care au o pondere tot mai mare în curba de sarcină a sistemului, soluţii de diminuare a poluării curbei de tensiune, perturbaţii electromagnetice produse de staţiile şi liniile electrice, în laboratoarele ecranate de înaltă tensiune şi în instalaţiile electroenergetice ale metroului. Lucrări valoroase au fost şi cele legate de influenţele între cablurile de forţă şi cele de telecomunicaţii, de evitarea influenţelor negative ale incompatibilităţii asupra condensatoarelor şi computerilor personale, precum şi cele privitoare la impactul reţelelor de joasă tensiune asupra mediului.

Din păcate, spaţiul tipografic limitat a făcut obligatorie o selecţie riguroasă, uneori nemotivată de calitatea comunicărilor, ci numai de consideraţii privind încadrarea în volumul revistei.

Acesta este unul dintre marile regrete ale redacţiei şi moderatorilor, pe lângă cel legat de faptul că în cadrul mesei rotunde nu au fost dezbătute şi alte aspecte interesante ale problemei, cum ar fi efectele câmpului asupra personalului, efectul salturilor şi golurilor de tensiune, paraziţii produşi de efectul corona şi dezechilibrele de fază, flikerul şi soluţiile de evitare a impactului negativ al acestor fenomene. Cu toate acestea, considerăm că această manifestare ştiinţifică şi mai ales ecoul său manifestat prin numărul şi calitatea intervenţiilor pe marginea comunicărilor prezentate, motivează pe deplin eforturile făcute de revistă şi UPB pentru organizarea acestei mese rotunde.

prof. dr. ing. Dorin Cristescu
dr. ing. Miron Laurenţiu Goia
membri ai Colegiului de Redacţie

NIVELUL PERTURBAŢIILOR ÎN LEA DIN ROMÂNIA. ASPECTE STATISTICE ŞI PRACTICE

prof.dr.ing. DORIN CRISTESCU *, prof.dr.ing. MARILENA UNGUREANU *

Lucrarea prezintă aspecte legate de câmpul perturbator al LEA pentru configuraţiile de linii de 4oo kV existente în România (linii normale sau cu gabarit redus).

S-a precizat contribuţia conductoarelor, respectiv a lanţurilor de izolatoare în stabilirea nivelului perturbator admisibil, pentru cazurile considerate.

Lucrarea discută şi aspecte ale depăşirii nivelului perturbator admisibil, nivel stabilit conform recomandărilor CEI şi CISPR.

Conceperea liniilor electrice aeriene cu gabarit redus sau creşterea nivelului de tensiune al acestora a avut drept consecinţă creşterea gradientului electric superficial al conductoarelor, fenomenele de înaltă şi foarte înaltă frecvenţă dezvoltându-se cu intensitate crescută şi putând jena receptoare aflate în imediata apropiere a liniilor.

Analiza s-a bazat pe valorile de nivel perturbator obţinute prin măsurători efectuate în vecinătatea liniilor reale din România, ca şi pe linia şi standul experimental de la UPB.

Lucrarea propune, de asemenea, o definiţie a zonei perturbate în jurul liniei cu ajutorul noţiunii de probabilitate ponderată, ţinându-se cont de diferite condiţii meteorologice.

Aspects related with overhead electric lines disturbing field for the configurations of 400 kV and 750 kV electric lines (usual or with reduced sizes) in Romania are presented.

The influence of the conductors and the insulators chairs on the disturbing level is specified.

The paper refers on the exceding of the allowable disturbing level in agrement with IEC or CISPR.

The use of the lines with reduced sizes or the voltage increase level in the overhead electric lines design resulted in the occurrence of high surface gradient level. The high and very high frequency phenomena due to superficial field on the conductor develop more intensely, causing troubles to te receivers in the close vecinity of the electric lines.

The analysis especially relies on the disturbing level values obtained as a results of measurements performed both in the neighbourhood of real electric lines in Romania and as a results of measurements on the experimental line and stand of the "Politehnica" University of Bucharest.

At the same time, the paper advances a definition of the disturbed area round on electric line established in probalitity terms, taking into account the different weather conditions.

Descriptori: linii electrice aeriene, perturbaţii electromagnetice

Introducere

Aspectul perturbator al liniilor electrice aeriene reprezintă astăzi un element important al prezenţei acestora în mediul ambiant. Cunoaşterea nivelului perturbator pe care acestea îl generează devine astfel necesară, luarea în consideraţie a acestuia trebuind să se facă încă din faza de concepere a liniilor electrice aeriene.

Literatura de specialitate furnizează numeroase date referitoare la perturbaţiile provocate de liniile electrice aeriene [2].

Particularităţile constructive ale liniilor şi conductoarelor din România a făcut necesară cunoaşterea şi estimarea comportării LEA existente prin determinări experimentale şi estimări analitice. Validarea formulelor şi relaţiilor de calcul al aspectelor perturbatoare , cum ar fi nivelul perturbator radioelectric, zgomotul acustic etc. a permis estimarea cantitativă a acestor perturbaţii, precum şi depistarea acelor elemente din geometria liniilor care pot duce la limitarea lor.

În România, analiza experimentală a perturbaţiilor LEA a început în anul 1977, odată cu efectuarea primelor măsurători de nivel perturbator

* Universitatea "Politehnica" Bucureşti - Facultatea de Energetică

radioelectric (NP) pe care autorii acestei lucrări le-au efectuat pe linia experimentală de la U.P.B - Facultatea de Energetică. Concepţia sa constructivă permite modelarea liniilor electrice aeriene de diferite tensiuni nominale: 110 - 750 kV [3]. Măsurătorile au fost continuate în mod sistematic în anii care au urmat pentru linii de diferite tensiuni nominale şi configuraţii geometrice atât în sistemul energetic naţional, cât şi pe linia experimentală de la U.P.B, în condiţii meteorologice variate.

Numeroasele rezultate obţinute au permis definirea unor noi mărimi caracteristice liniilor aeriene din punctul de vedere al perturbaţiilor, cum ar fi: culoarul perturbat al liniilor definit pe baze statistice, utilizând probabilitatea de depăşire a nivelurilor perturbatoare admisibile.

1. Nivelul perturbator radioelectric al liniilor electrice aeriene

1.1. Funcţia de excitaţie

Nivelul perturbator al LEA poate fi caracterizat cu ajutorul funcţiei de excitaţie Γ, care exprimă analitic dezvoltarea intrinsecă a descărcării corona , descărcare care stă la originea acestor perturbaţii [3]. Funcţia $\Gamma = f(E_{max})$, reprezentată în figura 1, a fost stabilită experimental pentru conductoare de fabricaţie românească cu ajutorul liniei experimentale de la U.P.B, prezentată de autori în [3].

Valorile obţinute pentru fasciculele de 2,3 şi 5 conductoare de OL-Al de 300 mm^2 şi 450 mm^2 , valori concordante cu cele din literatura de specialitate [3,4,5,7], au permis estimarea valorilor pentru orice tip de fascicul. De asemenea, valorile măsurate au permis stabilirea expresiei

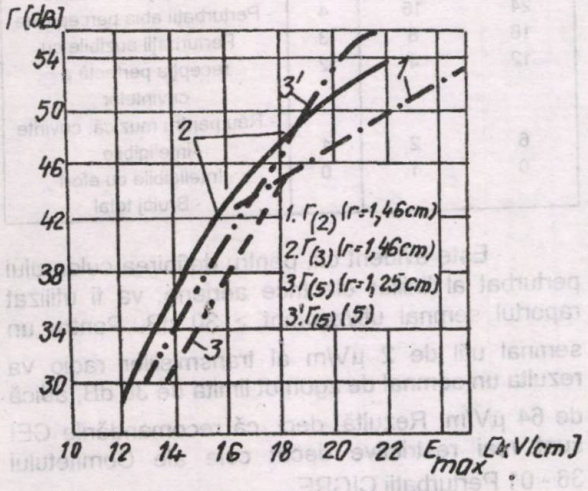


Fig.1 Funcţia de excitaţie $\Gamma = f(E_{max})$.

analitice a funcţiei Γ, valabilă pentru conductoarele de fabricaţie românească:

$$\Gamma = 50 - \frac{540}{E_{max}} + 74 \log d - 10 \log n \qquad (1)$$

$$n > 3,\ E_{max} > 17\ \text{kV/cm}$$

relaţie care ţine seama de valoarea gradientului superficial maxim al conductoarelor E_{max}, şi de elementele geometrice ale fasciculului: d - diametrul conductoarelor, n - numărul conductoarelor din fascicul.

1.2 Nivelul perturbator al liniilor electrice aeriene

Funcţia Γ stabilită anterior a fost utilizată pentru determinarea profilului perturbator al liniilor electrice aeriene din România, pentru diferite configuraţii şi echipări ale acestora (simplu sau dublu circuit, normale sau cu gabarit redus) [4,5,6].

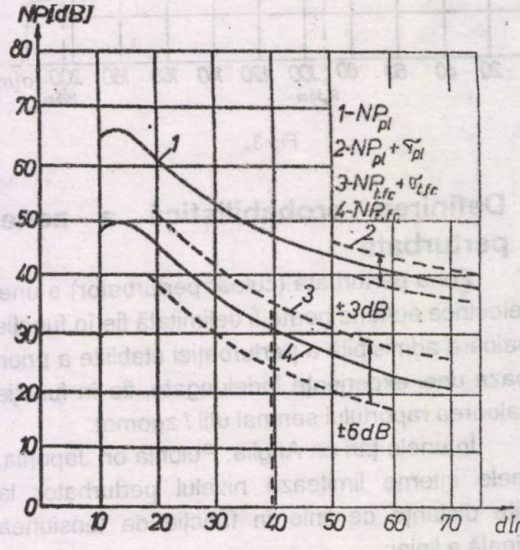


Fig.2. NP = f(d) pentru o linie de 400 kV, 3 x 300 mm^2.

Figura 2 prezintă profilul transversal al LEA de 750 kV, echipate cu fascicule de 5 x 300 mm^2 OL-Al, iar figura 3 profilul transversal al unei linii de 400 kV echipată cu fascicule de 3 x 300 mm^2 OL-Al. Concordanţa valorilor obţinute cu cele pe care le furnizează aplicarea unor metode analitice complexe cunoscute în literatura de specialitate (metoda componentelor modale), aşa cum apare în figurile 2 şi 3 , ca şi prin aplicarea unor relaţii consacrate (relaţia CIGRE), aşa cum apare în tabelul 1 , este foarte bună.

Tabelul 1

Tipul fasciculului	Simplu circuit		Dublu circuit	
	triunghi	triunghi asimetric	compact hexagon	hexagon
3x300 mm^2	-	41.05	-	41.92
4x300 mm^2	32.16	30.91	38.08	32.77
5x300 mm^2	52		-	-

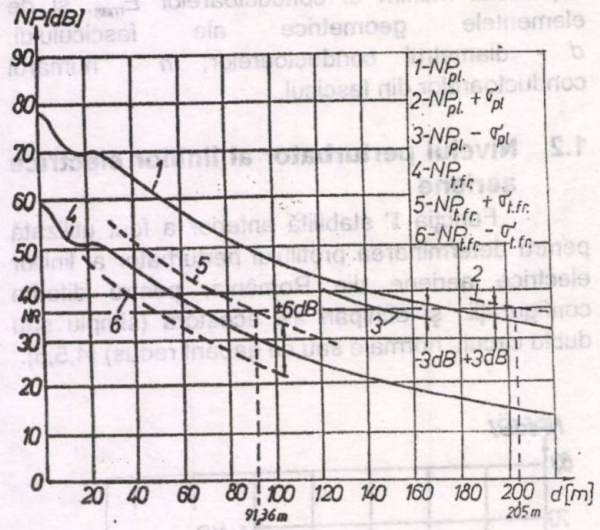


Fig.3.

2. Definirea probabilistică a zonei perturbate

Zona perturbată (culoar perturbator) a unei linii electrice aeriene poate fi delimitată fie în funcţie de valoare admisibilă a perturbaţiei stabilite a priori pe baza unei experienţe îndelungate, fie în funcţie de valoarea raportului semnal util / zgomot.

În unele ţări ca Anglia, Polonia ori Japonia, normele interne limitează nivelul perturbator la diferite distanţe de linie în funcţie de tensiunea nominală a liniei:

- Anglia : la 20 m de cea mai apropiată faţă a liniei:
  - radio: 83 dB/1μV/m
  - T.V : 32 dB/μV/m
- Polonia : la 20 m de cea mai apropiată faţă a liniei:
  - radio : 57,5 dB/1μV/m
- Japonia : la 10 m de cea mai apropiată faţăa a liniei:
  - radio : 40 dB/1μV/m

În România nu există încă norme interne care să precizeze un nivel perturbator limită sau o valoare minimă a raportului semnal/zgomot. De aceea, în discuţia privind stabilirea zonei perturbate a liniilor electrice aeriene s-au luat în considerare recomandările făcute de organismele internaţionale [1,2].

a. Comitetul CISPR /C - CEI [1] recomandă ca valori ale câmpului perturbator limită pentru un receptor aflat la distanţa de 20 m faţă de faza laterală a liniei, pentru regiuni care corespund amplasării geografice a României, pe cele din tabelul 2.

Tabelul 2

Banda de frecvenţa [MHz]	0.15 - 0.3	0.3 - 3	3 - 30
Regiunea 1 - zona A-	47 dB/1μV/m	33 dB/1μV/m	33 dB/1μV/m

Se precizează, de asemenea, că lărgimea coridorului perturbat de către o linie electrică aeriană, la care nu s-au făcut predeterminări şi nici determinări experimentale ale NP, se poate considera ca având valorile din tabelul 3.

Tabelul 3

Tensiuni [kV]	Lărgimea coridorului [m]
11 - 75	70
76 - 220	100
>220	600

b. Comitetul 36 - 01 Perturbaţii - CIGRE precizează următoarele valori ale raportului semnal util/zgomot pentru diferite calităţi ale audiţiei (tabelul 4) [2]:

Tabelul 4

Semnal util/ zgomot [dB] valori absolute		Cod	Impresia subiectivă asupra calităţii recepţiei
30	32	5	- Perturbaţii neauzibile
24	16	4	- Perturbaţii abia perceptibile
18	8	3	- Perturbaţii auzibile cu
12	4	2	recepţia perfectă a cuvintelor
			- Rău pentru muzică, cuvinte
6	2	1	inteligibile
0	1	0	- Inteligibile cu efort
			- Bruiaj total

Este evident că, pentru definirea culoarului perturbat al liniilor electrice aeriene, va fi utilizat raportul semnal util/zgomot > 30 dB. Pentru un semnal util de 2 μV/m al transmisiilor radio va rezulta un semnal de zgomot limită de 36 dB, adică de 64 μV/m. Rezultă, deci, că recomandările CEI sunt mai restrictive decât cele ale Comitetului 36 - 01 Perturbaţii CIGRE .

Pe baza nivelurilor perturbatoare prezentate în capitolul 2 al lucrării, pentru linii de 400 kV şi 750 kV, şi considerându-le ca valori medii (conform CISPR fluctuaţia de NP pe timp frumos este de 6dB şi pe ploaie de 3dB,) au rezultat dimensiunile zonei perturbate, de o parte şi de alta a axului liniei, valori date în tabelul 5.

Tabelul 5

Linia	Fascicul	Dimensiunea zonei perturbate	
		timp frumos	ploaie
400 kV normal	3x300 mm^2	2x39 m	2x110 m
750 kV	5x300 mm^2	2x90 m	2x205 m
400 kV compact	4x300 mm^2	2x80 m	2x215 m

Pentru intervale scurte de timp, din cauza caracterului aleator al fenomenului, valorile impuse pot fi depăşite. Pentru un receptor situat în interiorul zonei perturbate se poate defini riscul de depăşire al NP ca 1 - P_{med}, unde P_{med} reprezintă probabilitatea ca valoarea medie a raportului semnal util/ zgomot să fie < 36 dB.

$$P_{med} = [T_{pl} \cdot P_{pl}(d) + T_{tf} \cdot P_{tf}(d)] / (T_{pl} + T_{tf}), \quad (2)$$

unde:

P_{pl}, P_{tf} sunt probabilitatea de apariţie a unui nivel dat a NP pe ploaie şi pe timp frumos;

T_{pl}, T_{tf} - intervalul de timp de ploaie, respectiv timp frumos.

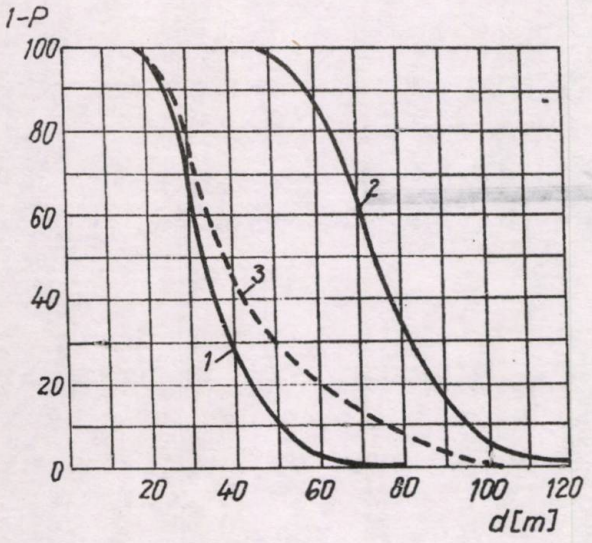


Fig.4. Probabilitatea de depăşire a NP admisibil la LEA 400 kV: 1- timp frumos, 2- ploaie, 3 - mediu.

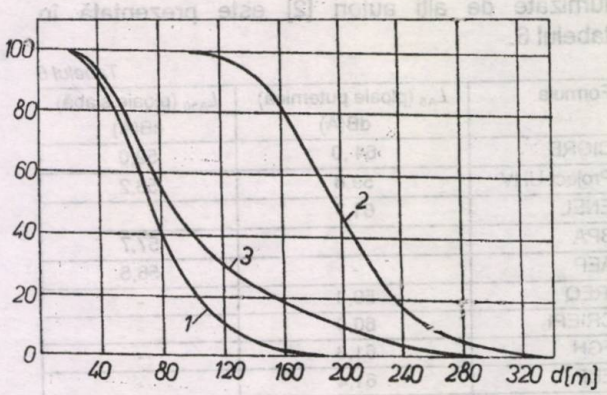


Fig.5.Probabilitatea de depăşire a NP admisibil la LEA 750 kV: 1 - timp frumos, 2- ploaie, 3- mediu.

Probabilitatea de depăşire a nivelului admisibil 1 - P_{med} = f (d) pentru liniile analizate este prezentată în figurile 4 (U_n = 400 kV) şi 5 (U_n = 750 kV).

Probabilitatea de depăşire de 0 % precizează dimensiunile maxime ale culoarului perturbat. Câteva observaţii:

- probabilitatea de depăşire a NP admisibil de 36 dB este mult mai mare la linia de 750 kV decât în cazul unei linii de 400 kV dublu circuit cu gabarit redus;
- culoarul perturbat al unei linii de 400 kV este de 2 x 40 m (timp frumos) / 2 x 110 m (ploaie), mult mai mic decât în cazul liniei de 750 kV;
- culoarul perturbat al unei linii de 750 kV are practic aceleaşi dimensiuni cu cel al unei linii cu gabarit redus dublu circuit de 400 kV.

3. Zgomotul acustic

Stabilirea relaţiei ce defineşte funcţia de excitaţie pentru conductoarele de fabricaţie românească a permis determinarea unei relaţii de calculul al zgomotului acustic al liniilor electrice aeriene din ţara noastră:

$$L_A = \left(1{,}38 \cdot 10^{-4} \cdot \Gamma^{2.23} - 1\right) + 74 - 10 \log D\ , \quad (3)$$

unde:

Γ este funcţia de excitaţie definită anterior;

D - distanţa în zbor de pasăre între faza laterală şi punctul de determinare.

Relaţia (3) este valabilă pentru n>3 şi E_{max} > 17 kV/cm.

Valoarea lui LA găsită pentru o linie tip pentru care:

E = 19,8/21,1/19,8 kV/cm; d = 2,96 cm; n =4; distanţa între faze = 13,7 m; înălţimea faţă de pământ = 18,3 m; D = 29 m; a fost de 59,7 dB(A).

Concordanţa dintre valorile obţinute şi cele furnizate de alţi autori [2] este prezentată în tabelul 6.

Tabelul 6

Formula	L_{A5} (ploaie puternică) dB(A)	L_{A50} (ploaie slabă) dB(A)
CIGRE	64 ,0	59,0
Project UHV	59,8	58,2
ENEL	61,7	
BPA	-	57,7
AEP	-	56,5
IREQ	59,3	-
CRIEPI	60,9	-
FGH	61,8	-
EDF	61,4	-
EGU	61,8	56,7
ULG	62,2	-
UPB (România)	59,7	-
valori măsurate	61,8	56,7

Concluzii

Numeroasele determinări experimentale pe liniile reale din România sau pe linia experimentală de la UPB au făcut posibilă stabilirea unei formule care să exprime dependenţa funcţiei Γ de diferiţi parametri.

Funcţia Γ astfel descrisă este uşor de utilizat în determinări analitice ca şi în definirea unor mărimi caracteristice, cum ar fi culoarul perturbat al unei linii electrice aeriene definit statistic.

Recomandările făcute de CEI ori CIGRE duc la valori medii, adesea depăşite datorită caracterului fluctuant al fenomenului, fiind necesară şi precizarea probabilităţii de depăşire a acestora.

BIBLIOGRAFIE

[1] CEI - Comitetul CISPR/C. - *Interference from overhad power lines, high voltage equipement and electric traction systems*, project CISPR C.9.1., apr. 1993

[2] CIGRE - *Perturbation engendrees par l'effet du couronne des reseaux de transport*, Guide de calcul,Paris,1974

[3] Cristescu, D.,Ungureanu, M, Postolache, P. *Nouveaux resultats concernant l'effet de couronne en tension alternative.* Correlations pertess, perturbations radioelectriques,bruit acoustique, CIGRE 1984, Rp. 36-06.

[4] Cristescu, D., Ungureanu, M, Măgureanu, Gh. *L'effet de couronne sur les lignes compactes,* Symposium CIGRE, Leningrad 1991, Rp. 500-02.

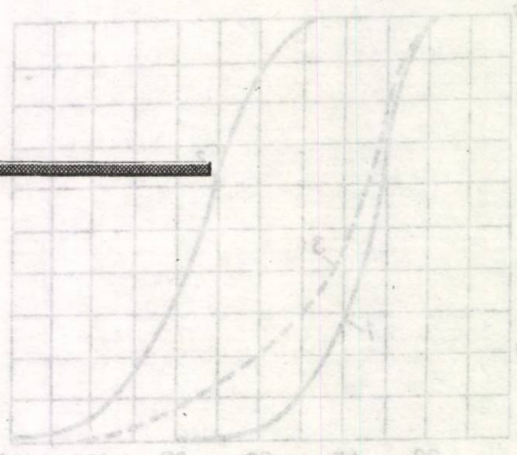
[5] Ungureanu, M., .Cristescu, D Magureanu, Gh. Ioan, Şt. *L'impact electromagnetique des lines electriques de haute tension sur l'environement,* Symposium CIGRE, Lausanne, 1993.

[6] Cristescu, D. Ungureanu, M, Gary, C. *Problemes speciaux lies aux perturbations radioélectriques dues aux lignes a 400 kV et a 750 kV - experience roumaine*, Groupe de travail 36-01 CIGRE, 1990.

[7] Cristescu, D. Ungureanu, M. Gary, C. *Radio noise produced by the new romanian 750 kV line and substation*, ISH Braunschweig, Rap. 416, 1988

Referent: dr. ing. Jean Constantinescu - GSCI, Bucureşti

(Primit la 15 ianuarie 1996, acceptat la 4 februarie 1996)



OPTIMIZAREA COSTULUI UNEI INSTALAŢII DE FILTRARE-COMPENSARE PENTRU RECEPTOARE INDUCTIVE ŞI DEFORMANTE

ing. ROMULUS SFICHI *

Lucrarea prezintă un procedeu de calcul privind predeterminarea parametrilor optimi ai unei instalaţii de filtrare-compensare (I.F.C.) pentru receptoare inductive şi deformante. Criteriul de optimizare constă în minimizarea costului componentelor I.F.C. (bobine şi condensatoare) şi se referă la cazul în care pentru compensarea puterii reactive se foloseşte o baterie de condensatoare conectată direct la reţea, în paralel cu circuitele filtrante.

The paper presents a calculation method for predetermination the optimum parameters of a filtering-compensation outfit (FCO) for reactive and distorting electric facilities.

The optimizing criterion consists in minimizing the FCO component parts cost (coils and capacitors) and concerns the case of reactive power compensation by means of a capacitor battery directly connected to the network in parallel with the filtering circuit.

Descriptori: reţele electrice, filtrare, compensare, putere reactivă, putere deformantă

Consideraţii preliminare

În general, puterea reactivă ce se instalează în bateriile de filtre de absorbţie, pentru compensarea regimului deformant nu satisface totdeauna şi necesarul de putere reactivă pentru creşterea factorului de putere până la valoarea lui neutrală şi care în România este de 0,92 [2]. Ca urmare, în astfel de cazuri este necesară instalarea unei baterii de condensatoare suplimentară, conectată direct la barele reţelei de alimentare din nodul respectiv, în paralel cu circuitele filtrante ale bateriei de filtre cu absorbţie.

Această soluţie asigură proprietăţi de filtrare superioare, deoarece prezenţa condensatoarelor, în paralel, permite obţinerea unor benzi de tăiere şi pentru armonicile nefiltrate din circuitele rezonante. Dar, în acelaşi timp, această soluţie poate prezenta dezavantajul apariţiei unor rezonanţe de curent pe armonicile nefiltrate în circuitele constituite din aceste condensatoare şi reactanţa inductivă echivalentă a reţelei.

Oportunitatea utilizării acestei soluţii depinde de caracteristicile receptoarelor inductive şi deformante şi, în mod esenţial, de mărimea puterii reactive de compensare necesară.

În cele ce urmează ne vom referi la o modalitate de optimizare a parametrilor unei instalaţii de filtrare-compensare (I.F.C.), având drept criteriu minimul preţului de cost pentru o asemenea instalaţie în condiţiile prevăzute în [1].

Toate consideraţiile se vor referi la o singură fază a instalaţiei, fără a se mai face alte precizări pe parcursul lucrării. Rangul armonicilor pe care-l are în vedere calculul de optimizare, depinde de spectrul armonic al curbelor de tensiune şi curent din nodul respectiv şi nu depăşeşte, în general, $n = 25$.

1. Determinarea costului minim al I.F.C. şi al parametrilor optimi ai acesteia

Pentru început, în scopul simplificării raţionamentelor, vom presupune că I.F.C. conţine un singur circuit filtrant (F_n), acordat pe armonica de rang n, şi o baterie de condensatoare (BC) conectată în paralel cu (F_n), la barele ce alimentează consumatorul deformant (C_D) (fig.1). Costul I.F.C. se poate exprima printr-o funcţie - obiectiv [3] de forma:

$$K = p_c(Q - Q_{c1} + Q_{L1}) + K_{Fn}, \qquad (1)$$

* Filiala de Reţele Electrice Suceava - GTDEE.

unde:

p_c este costul specific (lei/kvar) al condensatoarelor;

Q - puterea reactivă totală necesar a fi compensată;

Q_{C1} - puterea reactivă furnizată de bateria de condensatoare a circuitului filtrant;

Q_{L1} - puterea reactivă absorbită de bobina circuitului filtrant;

K_{Fn} - costul instalaţiei de filtrare (de compensare a regimului deformant).

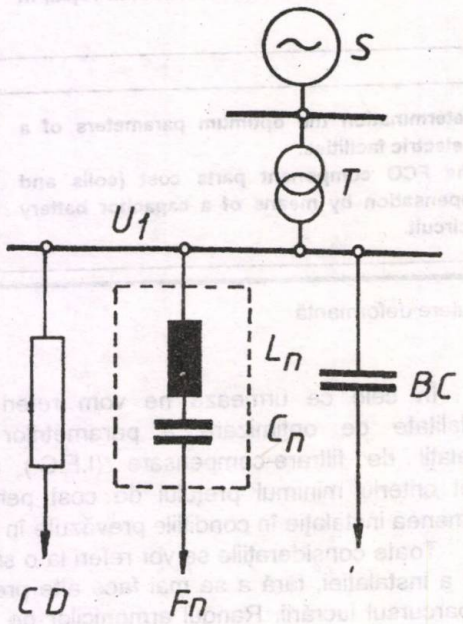


Fig.1.

Evident, Q, Q_{C1} şi Q_{L1} sunt puteri reactive considerate la frecvenţa fundamentală.

Ţinând seama că $Q_{L1} = Q_{C1}/n^2$, funcţia obiectiv (1) se poate retranscrie sub forma:

$$K = p_C\left(Q - \frac{Q_{C1}}{a_n}\right) + K_{Fn};\quad a_n = \frac{n^2}{n^2-1}. \qquad (2)$$

Costul circuitului filtrant K_{Fn} se evaluează cu relaţia:

$$K_{Fn} = p_C Q_{Cn} + p_L Q_{Ln}, \qquad (3)$$

în care:

Q_{Cn} reprezintă puterea reactivă a condensatoarelor filtrului F_n;

Q_{Ln} - puterea reactivă a bobinei aceluiaşi filtru (circuit rezonant);

p_L - costul specific al bobinei [lei/kvar].

Avem în vedere, de asemenea, că:

$$Q_{C1} = a_n^2 \omega_1 C_n U_1^2 \qquad (4)$$

$$Q_{Cn} = a_n^2 \omega_1 C_n U_1^2 + \frac{I_n^2}{n\,\omega_1 C_n} \qquad (5)$$

$$Q_{Ln} = \left(\frac{a_n}{n}\right)^2 \omega_1 C_n U_1^2 + \frac{I_n^2}{n\,\omega_1 C_n}, \qquad (6)$$

în care:

$\omega_1 = 2\pi f_1$; $f_1 = 50$ Hz este pulsaţia curentului fundamental;

U_1 - tensiunea reţelei;

I_n - curentul armonic de rang n, pe frecvenţa căruia este acordat circuitul filtrant F_n.

Substituind (4), (5) şi (6) în/şi apoi rezultatul obţinut în (2), se obţine funcţia obiectiv sub forma finală:

$$K(C_n) = AC_n + \frac{A}{C_n} + D_1, \qquad (7)$$

în care constantele A, B şi D au valorile:

$$A = \frac{a_n}{n^2-1}\omega_1 U_1^2 (p_C + p_L) \qquad (8)$$

$$B = \frac{I_n^2}{n\,\omega_1}(p_C + p_L) \qquad (9)$$

$$D + p_C Q \qquad (10)$$

În condiţiile în care Q este o mărime impusă de necesitatea îmbunătăţirii factorului de putere (care are de regulă o valoare constantă), rezultă că $K(C_n)$ are valoarea minimă, atunci când:

$$AC_n = \frac{B}{C_n},$$

din care:

$$C_n = C_n^* = \sqrt{\frac{B}{A}}. \qquad (11)$$

Substituind (8) şi (9) în (11), se obţine un prim rezultat pe care-l urmărim:

$$C_n^* = \frac{\sqrt{n}}{a_n}\cdot\frac{I_n}{\omega_1 U_1} \qquad (12)$$

Evident, având în vedere (11), din (7) rezultă:

$$K_{min} = K(C_n^*) = 2\sqrt{AB} + D \qquad (13)$$

Substituind apoi (8), (9) şi (10) în (13), se obţine un alt rezultat pe care-l urmărim:

$$K_{min} = \frac{2\sqrt{n}}{n^2-1}(p_C + p_L)U_1 I_n + p_C Q. \qquad (14)$$

În fine, din condiţia de rezonanţă a circuitului filtrant, acordat pe armonica de rang n,

$$n^2\omega_1^2 L_n^* C_n^* = 1,$$

rezultă inductanţa optimă a bobinei:

$$L_n^* = \frac{U_1}{\sqrt{n}(n^2-1)\omega_1 I_n}. \qquad (15)$$

Puterile reactive, la frecvenţa fundamentală, pentru parametrul $C_n = C_n^*$, exprimat prin (12), rezultă din (4) şi (6):

$$Q^*_{C_1} = a_n\sqrt{n}\,U_1 I_n;\quad Q^*_{L1} = \frac{a_n\sqrt{n}}{n^2}U_1 I_n \qquad (16)$$

Ca urmare, puterea reactivă ce urmează a fi furnizată de bateria de condensatoare, în aceste condiţii, este:

$$Q_{BC} = Q - Q^*_{C1} + Q^*_{L1},$$

sau, utilizând (16), avem:

$$Q_{BC} = Q - \sqrt{n}\,U_1 I_n\,. \qquad (17)$$

2. Verificarea la suprasarcina de durată a bateriei de condensatoare a circuitului filtrant din IFC

Potrivit prevederilor STAS - 7083 - 71 (respectiv, recomandărilor CEI - 70/1967) limitele de suprasarcină, în regim de durată, a condensatoarelor circuitului filtrant, se exprimă prin inegalităţile:

$$I \le 1{,}3\,I_N;\quad U_C \le 1{,}1\,U_N;\quad Q_C \le 1{,}43\,Q_N \qquad (18)$$

în care:

I, U_C şi Q_C sunt respectiv curentul, tensiunea şi puterea bateriei de condensatoare a circuitului filtrant;

I_N, U_N şi Q_N - valorile nominale ale aceloraşi mărimi.

Pentru verificarea restricţiilor (18), în condiţiile criteriului de optimizare adoptat, vom determina I, U_C şi Q_C [4]:

$$I = \sqrt{a_n^2\omega_1^2 C_n^2 U_1^2 + I_n^2} \qquad (19)$$

$$U_C = \sqrt{a_n^2 U_1^2 + \frac{I_n^2}{n^2\omega_1^2 C_n^2}} \qquad (20)$$

$$Q_C = a_n^2\omega_1 C_n U_1^2 + \frac{I_n^2}{n\,\omega_1 C_n} \qquad (21)$$

Substituind $C_n = C^*_n$, dat de (12), în (19), (20) şi (21), se obţin:

$$I = I_n\sqrt{n+1};\quad U_C = \frac{U_1}{n^2-1}\sqrt{n(n^3+1)};$$

$$Q_C = \frac{\sqrt{n}(n^2+1)}{n^2-1}U_1 I_n \qquad (22)$$

Valorile I/I_n, U_C/U_1 şi $Q_C/U_1 I_n$ rezultate din (22) pentru principalele armonici (canonice) din reţelele sistemelor electroenergetice sunt date în tabelul 1.

Tabelul 1

n	I/I_n	U_C/U_1	$Q_C/U_1 I_n$
3	2	1,14	2,16
5	2,44	1,046	2,42
7	2,82	1,022	2,76
11	3,46	1,009	3,37
13	3,74	1,006	3,65

Este de observat că supratensiunea ce se produce la bornele bateriei de condensatoare a circuitului filtrant se află sub limita admisibilă ($n \geq 5$). În ceea ce priveşte suprasarcinile de durată în curent şi putere reactivă este de observat că acestea nu depăşesc limitele recomandate, mai ales pentru armonicile de rang superior. În afara acestei verificări, trebuie făcută şi verificarea suplimentară privind posibilitatea apariţiei fenomenului de rezonanţă armonică cu reţeaua sistemului electroenergetic de alimentare [5].

3. Observaţii şi comentarii cu privire la rezultatele calculului de determinare a parametrilor optimi ai I.F.C.

Aşa cum se observă, relaţiile (12), (15), (16 şi (17), care exprimă parametrii optimi ai instalaţiilor de filtrare - compensare (I.F.C.) nu depind de costurile specifice p_C şi p_L ale condensatoarelor şi bobinelor.

Dacă întreaga putere reactivă, necesară îmbunătăţirii factorului de putere, s-ar instala în circuitele filtrante, prin minimizarea K_{Fn} (C_n) exprimată prin (3), s-ar obţine:

$$C^{**}_n = \frac{I_n}{a_n\omega_1 U_1}\sqrt{\frac{n(\lambda+1)}{n^2\lambda+1}};\quad \lambda = \frac{p_C}{p_L}, \qquad (23)$$

$$L^{**}_n = \frac{a_n U_1}{n^2\omega_1 I_n}\sqrt{\frac{n^2\lambda+1}{n(\lambda+1)}}, \qquad (24)$$

$$K_{F\min} = \frac{2\sqrt{n}}{n^2-1}p_L U_1 I_n\sqrt{(\lambda+1)(n^2\lambda+1)}. \qquad (25)$$

Dacă se fac rapoartele dintre (12) şi (23), respectiv între (24) şi (15), rezultă:

$$\frac{C^*_n}{C^{**}_n} = \frac{L^{**}_n}{L^*_n} = \sqrt{\frac{n^2\lambda+1}{\lambda+1}}. \qquad (26)$$

Aceste rapoarte depind atât de rangul n al armonicii filtrate, cât şi de raportul $\lambda = p_C / p_L$. La realizarea unei I.F.C. optimizată, faţă de cazul în care I.F.C. are numai filtrul optimizat, se obţine o economie valorică rezultată din diferenţa dintre K_{IFC}, $F_{n\,\min}$ şi $K_{\min}$, în care din (2) şi (25):

$$K_{IFC,F_{n\min}} = p_C Q + \frac{\sqrt{n}}{n^2-1}p_L U_1 I_n\sqrt{\frac{\lambda+1}{n^2\lambda+1}}\left[2+\lambda(n^2+1)\right], \qquad (27)$$

iar $K_{\min}$ este exprimat prin (14).

Se obţine:

$$\Delta_{IFC} = K_{IFC,F_{n\min}} - K_{\min},$$

adică:

$$\Delta_{IFC} = \frac{\sqrt{n}}{n^2-1}p_L U_1 I_n\sqrt{\lambda+1}\left(\sqrt{n^2\lambda+1} + \frac{\lambda+1}{\sqrt{n^2\lambda+1}} - 2\sqrt{\lambda+1}\right) \qquad (28)$$

După cum se observă din (28), economic Δ_{IFC} nu depinde de puterea bateriei de condensatoare conectată direct la reţea.

4. Generalizarea metodei optimale de calcul al unei I.F.C. ce conţine mai multe circuite filtrante. Repartiţia economică a condensatoarelor

Rezultatele obţinute pentru cazul unei I.F.C., ce conţine un singur circuit filtrant, pot fi extinse pentru cazul în care această instalaţie conţine mai multe circuite filtrante acordate pe frecvenţele canonice n = 5, 7, 11, 13, ... sau necanonice, însă cu o baterie conectată direct la reţea (fig.2).

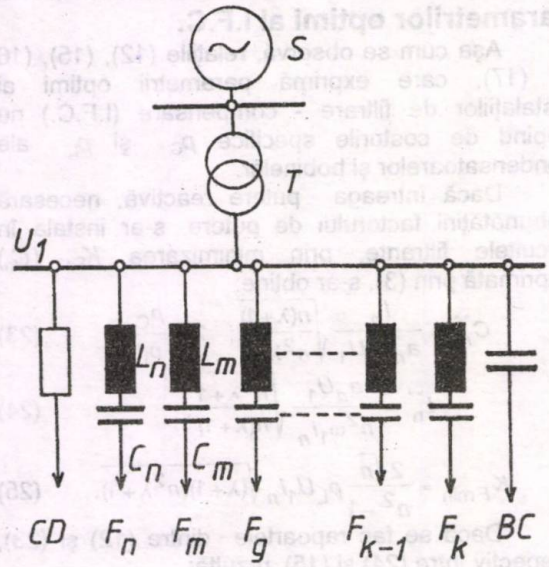


Fig.2.

Astfel, admiţând un al doilea circuit filtrant, acordat pe frecvenţa armonicii de rang m, prin aplicarea relaţiei (12), se obţine:

$$C_m^* = \frac{\sqrt{m}}{a_m} \cdot \frac{I_m}{\omega_1 U_1}. \qquad (29)$$

Făcând raportul relaţiilor (12) şi (29), se obţine:

$$\frac{C_n^*}{C_m^*} = \frac{a_m}{a_n} \cdot \frac{I_n}{I_m} \sqrt{\frac{n}{m}}. \qquad (30)$$

În cazul ideal în care $I_n = \frac{I_1}{n}$ şi $I_m = \frac{I_1}{m}$, relaţia (30) se poate retranscrie sub forma:

$$\frac{C_n^*}{C_m^*} = \frac{a_m}{a_n} \sqrt{\frac{m}{n}}. \qquad (31)$$

În fine, dacă admitem aproximaţia $a_m \approx a_n$, relaţia (31) devine:

$$\frac{C_n^*}{C_m^*} = \sqrt{\frac{m}{n}}. \qquad (32)$$

Relaţia (30), adusă la formele (31) şi (32), reprezintă un criteriu de repartiţie a capacităţii condensatoarelor de filtrare pe circuitele filtrante în cadrul I.F.C. optimizate.

În forma (32), acest criteriu de repartiţie a capacităţii condensatoarelor pe filtre corespunde cu optimul economic absolut al bobinelor circuitelor filtrante, când puterile aparente ale acestora sunt minime.

Generalizând (17) pentru cazul I.F.C. cu mai multe circuite filtrante, se obţine:

$$Q_{BC} = Q - U_1 \sum_n \sqrt{n} I_n. \qquad (33)$$

Costul minim al I.F.C., în acest caz, rezultă prin generalizarea relaţiei (14):

$$K_{min} = p_C Q + 2(p_C + p_L) U_1 \sum_n \frac{\sqrt{n}}{n^2 - 1} I_n. \qquad (34)$$

În anexă se prezintă un exemplu de calcul.

Concluzii

Optimizarea costului unei instalaţii de filtrare - compensare, compusă din mai multe circuite filtrante ale armonicilor prezente în reţea şi o baterie suplimentară de condensatoare conectată direct la reţea, scoate în evidenţă faptul că acest lucru este posibil admiţând o funcţie obiectiv ce exprimă variaţia liniară a costului instalaţiei cu puterile reactive ale bobinelor şi condensatoarelor.

Pornind de la condiţia de rezonanţă care exprimă acordul circuitelor filtrante (circuite serie L - C), pe diferite frecvenţe ale curenţilor armonici prezenţi în spectrul curentului total, optimul costului I.F.C. apare ca un minim condiţionat al funcţiei $K(C_n)$. Se obţin relaţii de calcul de utilitate pratică în legătură cu parametrii optimi ai I.F.C.

ANEXĂ

Se cere să se dimensioneze parametrii unei I.F.C. pentru filtrarea armonicilor superioare de rangurile n = 5,7 şi compensarea puterii reactive, Q = 2400 kvar, la bara de 6 kV a unui mare consumator industrial, la care se exploatează receptoare inductive şi deformante. Se cunosc I_5 = 33,8 A; I_7 = 15,6 A; f_1 = 50 Hz, iar tensiunea dintre faze U = 6 kV.

a) Se aplică relaţia (33) şi se determină - pe o fază - puterea reactivă necesară a bateriei de condensatoare, ce urmează a fi conectată direct la bare:

$$Q_{BC} = 800 - \frac{6}{\sqrt{3}}(33{,}8\sqrt{5} + 15{,}6\sqrt{7}) \approx 400 \text{ kvar}$$

b) Se aplică relaţia (12) şi se obţin:

$C_5^* \approx 66{,}704$ μF şi $C_7^* \approx 37{,}170$ μF

c) Se aplică relaţia (15) şi se obţin:

$L_5^* \approx 6{,}082$ mH şi $L_7^* \approx 5{,}568$ mH

d) Se aplică relaţiile (16) şi se obţin:

Q_{C5} = 272,72 kvar; Q_{L5} = 10,90 kvar

$Q_{C5} - Q_{L5}$ = 251,82 kvar

Q_{C7} =145,95 kvar; Q_{L7} = 2,97 kvar

$Q_{C7} - Q_{L7} \approx 143$ kvar

e) Se aplică relaţiile (22) şi se obţin:

$I_5 = 82{,}79$ A; $U_5 = 3{,}62$ kV; $Q_5 = 283{,}63$ kvar

$I_7 = 44{,}12$ A; $U_7 = 3{,}54$ kV; $Q_7 = 148{,}93$ kvar

f) Se calculează curenţii fiecărei baterii de condensatoare pentru parametrii nominali consideraţi ca cei rezultaţi din calcul:

$$I'_5 = \sqrt{Q_{C5}\,\omega_1 C_5^*} = \sqrt{272{,}72 \cdot 10^3 \cdot 10^2\pi \cdot 66{,}704 \cdot 10^{-6}} \approx 75{,}48 \text{ A}$$

$$I'_7 = \sqrt{145{,}95 \cdot 10^3 \cdot 10^2\pi \cdot 37{,}170 \cdot 10^{-6}} \approx 41{,}27 \text{ A}$$

g) Se verifică restricţiile (18):

$$\frac{I_5}{I'_5} = \frac{82{,}79}{75{,}48} = 1{,}09 < 1{,}3; \quad \frac{I_7}{I'_7} = \frac{44{,}12}{41{,}27} \approx 1{,}07 < 1{,}3$$

$$\frac{U_5}{U'_5} = 3{,}62 \cdot \frac{\sqrt{3}}{6} = 1{,}04 < 1{,}1; \quad \frac{U_7}{U'_7} = 3{,}54 \cdot \frac{\sqrt{3}}{6} = 1{,}02 < 1{,}1$$

$$\frac{Q_5}{Q_{C5}} = \frac{283{,}63}{272{,}72} = 1{,}04 < 1{,}43; \quad \frac{Q_7}{Q_{C7}} = \frac{148{,}93}{145{,}95} = 1{,}02 < 1{,}43$$

Se constată că restricţiile (18) sunt îndeplinite şi că puterea reactivă disponibilă, la frecvenţa fundamentală a circuitelor filtrante (potrivit punctului d de mai sus) este 251,82 + 143 = 394,82 kvar, care acoperă, aproximativ, bateria de condensatoare ce se conectează direct la bare, puterea necesară fiind de 800 kvar.

h) Costul minim, informativ, al IFC rezultă prin aplicarea relaţiei (34) considerând [3], $\lambda = p_C / p_L \approx 1/2$:

$$K_{min} = 872{,}2\ p_C.$$

Considerând pentru situaţia actuală, $p_C \approx 25$ mii lei/kvar, rezultă $K_{min} = 21\,805$ mii lei.

BIBLIOGRAFIE

[1] * * * PE 143/80. *Normativ privind limitarea regimului deformant.* În: Prescripţii de proiectare a instalaţiilor de alimentare cu energie electrică a consumatorilor, ICEMENERG, Bucureşti, 1986.

[2] * * * *Notă privind negocierea tarifelor pentru energia electrică şi termică livrată consumatorilor de către RENEL*, 1.738/91.

[3] Rosman, H., Savin, Gh. *Méthode optimale de calcul d'une installation de filtrage - compensation.* In: Buletinul I.P. Iaşi, tom 38 (37). fasc. 1 - 4, secţia III, pag. 89 - 96 (1987).

[4] Sfichi, R., Kirstiuk, T. *Dimensionarea filtrelor de absorbţie din condiţia minimizării puterii reactive a bateriei de condensatoare funcţie de capacitatea acesteia.* În: Producerea, transportul şi distribuţia energiei electrice şi termice, RENEL-CIDE nr. 11 - 12/1992, pp. 75 - 82.

[5] Comşa, D. ş.a. *Proiectarea instalaţiilor electrice industriale.* Editura Didiactică şi Pedagocică, Bucureşti, 1979.

[6] * * * 1.E - I_p 50 - 86. *Instrucţiuni de proiectare a bateriilor de condensatoare montate în interior la staţiile de transformare.* ICEMENERG , Bucureşti, 1988.

Referent: dr. ing. Miron Goia - RENEL - GSCI

(Primit la 24 august 1993, acceptat la 25 aprilie 1994)

Primim din partea Comitetului Membru Român al UNIPEDE

Conferinţe organizate de UNIPEDE în anul 1996

A VI-a Conferinţă de Informatică

Conferinţa, având ca temă *"Tehnologiile informatice şi avantajele acestora pentru sectorul electric"*, se va desfăşura la Atena, Grecia, în perioada 9 - 10 mai 1996.

Obiectivele conferinţei sunt:

- prezentarea conceptelor practice şi tehnice bazate pe relaţia "serviciu-client", relaţie ce există între tehnologiile informatice şi utilizatorii acestora. Se vor prezenta tendinţele, metodele şi modul de aplicare a acestora în întreprinderile de electricitate;
- sublinierea modului de utilizare a tehnologiilor informatice pentru ameliorarea serviciilor şi reducerea costurilor.

Informaţii suplimentare pot fi obţinute de la:

Secţiunile conferinţei sunt:

1. Reţele Client - Sever
2. Aplicaţii informatice
3. Noi concepte
4. Calitatea şi aspectele economice
5. Infrastructura, tehnologiilor informatice şi interfaţa cu utilizatorii.
6. Organizarea funcţionării tehnologiilor informatice.
7. Strategia tehnologiilor informatice.

Informaţii suplimetare pot fi obţinute de la:

Caroline Hulmston
Assistante, Secretariat de l' UNIPEDE
28, rue Jaques Ibert
FR - 75858 - Paris Cedex 17, France
Fax: + 33140426052

A II-a Conferinţă privind dezvoltarea şi funcţionarea marilor reţele interconectate

Conferinţa, organizată în colaborare cu Comisia pentru Europa a Naţiunilor Unite, va avea ca temă *"Care sunt limitele interconectării"* şi se va desfăşura la Budapesta - Ungaria, în perioada 13 - 15 noiembrie 1996.

Pornind de la o temă de mare actualitate conferinţa se va desfăşura pe mai multe sesiuni tematice, şi anume:

- Sesiunea I - Dezvoltarea sistemelor interconectate;
- Sesiunea a II-a - Coordonarea sistemelor interconenctate;
- Sesiunea a III-a - Deschiderea spre piaţă a sistemelor interconectate;
- Sesiunea a IV-a - Impactul sistemelor interconectate asupra mediului.

Informaţii pot fi obţinute de la:

Jean Gabriel Valentin
Conseilier Principal - UNIPEDE
Fax: +33140426052

Relaţii suplimentare, precum şi programul detaliat al acestor conferinţe pot fi obţinute şi din partea Comitetului Membru Român al UNIPEDE, RENEL - Direcţia Strategie Planificare, Fax: 3120290

Secretar CMR - UNIPEDE
ing. Dumitru Manea

APARATELE ELECTROCASNICE - SURSE DE POLUARE ARMONICĂ

prof.dr.ing.CARMEN GOLOVANOV*; prof.dr.ing.NICOLAE GOLOVANOV*;
ing.AURELIAN CALOTOIU**

Aparatele electrocasnice moderne (receptoarele TV color, lămpile fluorescente compacte, cuptoarele cu microunde, maşinile de spălat cu program) reprezintă, pentru reţeaua de alimentare, sarcini cu caracteristici neliniare, deci surse poluante armonic.

Lucrarea prezintă determinarea nivelului de emisie armonică al unor aparate electrocasnice şi, corelat cu aceasta, estimarea nivelului perturbaţiei, produsă de acestea, într-un punct de alimentare, comparându-l cu nivelul de compatibilitate electromagnetică(CEI 1000-2-2).

Se analizează soluţii pentru diminuarea nivelului de emisie armonică, corelat cu nivelul de imunitate la perturbaţii, al celorlalte echipamente , conectate la aceeaşi reţea electrică.

The modern domestic appliances (coloring TV sets, compact luminous lamps, microwave ovens, automatic wahing machines) mean to be, for the supplying network, loads with non-linear characteristics, i.e. harmonic polluting sources.

The paper presents both the method of setting the harmonic emission level of some domestic appliances and, closely related, the assessment of the resulted disturbance level in a supplying area by comparing it with the electromagnetic compatibility level (CEI 1000-2-2).

There are also analysed solutions meant to decrease the harmonic emission level correlated with the disturbance immunity level of the other outfits connected to the same electric network.

Descriptori: aparate electrocasnice, poluare armonică

Introducere

După 1989, în special datorită conectării unor noi tipuri de receptoare, în România s-a constatat o creştere a consumului de energie electrică în sectorul casnic.

Dacă în 1990, consumul de energie electrică al sectorului casnic a reprezentat 9,1 % din energia vândută, se ajunge în 1993 la 17,1 %, aceasta însă şi în condiţiile reducerii vânzării de energie electrică în 1993 la 75,6 % faţă de 1990.

Creşterea consumului casnic în balanţa energetică a ţării, remarcată şi pe plan mondial, ridică probleme noi, care necesită noi relaţii între consumator, furnizor şi administraţie.

Dintre problemele care urmează să fie rezolvate şi la noi în ţară, se menţionează:

• acoperirea necesarului de energie pentru consumul casnic, în special prin reducerea consumurilor specifice. În acest sens, o deosebită importanţă o are promovarea programelor DSM (Demand Side Management)* la consumatorii casnici;

• verificarea şi menţinerea nivelurilor perturbaţiilor armonice la valori inferioare celor admise de normativul CEI 1000-2-2 [1], în punctul de alimentare , în condiţiile în care, aparatele electrocasnice moderne (receptoarele TV color, lămpile fluorescente compacte, cuptoarele cu microunde, aparatura audio-video, maşinile de spălat cu program etc.) reprezintă , pentru reţea, sarcini cu caracteristică neliniară; aparatele electrocasnice constituie, astfel, surse poluante, care introduc perturbaţii, degradând produsul energie electrică, fiind posibilă afectarea consumatorilor racordaţi la aceeaşi reţea electrică [2], (în măsura în care nivelul perturbaţiilor depăşeşte nivelul de imunitate pentru care au fost proiectate echipamentele);

• măsurarea corectă a energiei consumate, utilizând contoare moderne electronice (statice), a

* Universitatea "Politehnica" Bucureşti, Facultatea de Energetică
** ICPE ACTEL S.A. Bucureşti

* DSM, definit în cadrul grupei de lucru 37.03 din CIGRE ,în 1989,reprezintă planificarea, evaluarea şi urmărirea activităţii desfăşurată de companiile de electricitate, cu scopul de a influenţa utilizarea energiei la consumatori, astfel încât să se producă schimbările dorite în curba de sarcină.

căror funcţionare nu este afectată de prezenţa componentelor armonice;

• asigurarea, în locuinţe, a unui nivel al intensităţii câmpului electric şi al inducţiei câmpului magnetic , care să nu constituie factor de risc pentru sănătatea populaţiei.

1. Spectrul armonic al emisiei aparatelor electrocasnice

Utilizarea , din ce în ce mai frecventă, a aparatelor electrocasnice moderne, cu componente electronice, care constituie o sarcină cu caracteristică neliniară, determină propagarea ,în reţeaua de alimentare, a unor componente armonice de curenţi de intensitate mare.

Măsurători efectuate pe un eşantion de 50 de posturi de transformare din Franţa [4] ,arată că nivelul maxim al armonicilor este situat în două tranşe orare fixe: 12 - 14 şi 20 - 22. Aceste armonici se datorează, în mare parte, utilizării aparatelor electrocasnice, şi, în particular, funcţionării televizoarelor.

Televizorul, ca de altfel şi alte aparate de uz casnic, are la intrare o punte redresoare cu diode şi un condensator electrolitic de mare capacitate (pentru filtrarea tensiunii redresate).

Condensatorul de filtrare are o deosebită influenţă asupra formei curentului absorbit din circuitul de alimentare. De fapt, coeficientul de distorsiune al curentului depinde de valoarea acestui condensator.

În tabelul 1 se prezintă spectrul armonic al curentului absorbit de un televizor de fabricaţie curentă (80 W) [3].

Tabelul 1

Spectrul armonic al curentului de alimentare pentru un televizor color

Rang armonic	1	3	5	7	9	11	13	15
	%	%	%	%	%	%	%	%
Televizor	100	86,50	77,60	60,50	48,40	33,20	22,30	13,80

Desigur că nu toate televizoarele, chiar de aceeaşi putere, sunt riguros identice, deoarece schemele de filtrare sunt diferite. În consecinţă, numai o abordare statistică a dispersiei pe baza funcţiei de repartiţie, poate conduce la concluzii realiste.

Studiile efectuate pe acest tip de receptor [3,4,5], pentru un eşantion de 22 de televizoare, având puterea nominală cuprinsă între 50...80 W, au arătat că valoarea coeficientului de distorsiune de curent variază între 72 % şi 80 %.

Astfel , receptoarele de televiziune sunt responsabile pentru aproximativ o treime din poluarea armonică din reţelele de medie tensiune.

O altă sursă importantă de poluare armonică o reprezintă lămpile fluorescente compacte cu balast electronic, din ce în ce mai utilizate ca surse eficiente de lumină. Curentul electric absorbit de acest tip de lampă este pronunţat distorsionat şi prezintă un coeficient de distorsiune variind între 74 % şi 79 % , ceea ce desigur reprezintă un inconvenient major. Totuşi, trebuie menţionate şi avantajele pe care le prezintă lămpile fluorescente compacte cum ar fi, de exemplu, durata lor de viaţă (8000 de ore de funcţionare) şi consumul de circa cinci ori mai scăzut decât al lămpilor tradiţionale cu incandescenţă, pentru acelaşi flux luminos.

Ca şi în cazul celorlalte surse de poluare armonică , din acest punct de vedere, lămpile fluorescente compacte (cu balast electronic) trebuie definite printr-o abordare statistică, prin densităţile de probabilitate pentru modulul şi defazajul corespunzătoare fiecărei armonice.

Studiile efectuate pe un eşantion de 32 de lămpi fluorescente compacte cu balast electronic, de fabricaţii diferite şi acoperind o gamă de putere (11 - 23) W au condus la datele înscrise în tabelul 2 , care atestă funcţii de repartiţie de tip Gauss pentru modulul şi argumentul componentelor armonice, caracterizate de media *m* şi abaterea standard σ [7].

Cunoscând caracteristicile statistice ale fiecărei componente armonice, se poate estima curentul rezultant, ca efect al funcţionării unui ansamblu de lămpi fluorescente compacte.

Tabelul 2

Caracterisicile statistice ale modulului şi defazajului curentului armonic injectat de lămpi fluorescente compacte cu balast electronic, în funcţie de rangul armonic *n*

Rangul n	3	5	7	11	13
Caracteristica modulului	*Gauss* m = 57 mA σ = 13 mA	*Gauss* m = 42 mA σ = 5 mA	*Gauss* m = 32 mA σ = 8 mA	*Gauss* m = 27 mA σ = 6,5 mA	*Gauss* m = 25 mA σ = 5 mA
Caracteristica defazajului	*Gauss* m = 240° σ = 5°	*Gauss* m = 80° σ = 10°	*Gauss* m = 300° σ = 15°	*Gauss* m = 100° σ = 15°	*Gauss* m = 200° σ = 25°

Acesta depinde de :

* numărul de surse de injectie;
* simultaneitatea de funcţionare;
* dispersia modulelor şi a argumentelor în jurul valorilor medii.

În cadrul lucrării, s-a studiat spectrul armonic al curenţilor absorbiţi din reţeaua de alimentare (fig.1) pentru câteva tipuri de aparate electrocasnice şi de lămpi electrice, utilizate în România. Prelevarea semnalului s-a făcut cu un convertor de curent bazat pe efect Hall (de tip LEM); curba de variaţie în timp a curentului a fost achiziţionată cu un osciloscop digital cu memorie, fiind apoi transferată şi prelucrată cu ajutorul calculatorului, folosind pachetul de programe MATLAB , pentru determinarea spectrului armonic.

În figura 2 se prezintă, comparativ, spectrul armonic al curentului pentru aparatele electrocasnice şi lămpile de iluminat studiate.

Analiza datelor experimentale arată că, pentru calculele practice, receptoarele neliniare pot fi clasificate, din punctul de vedere al spectrului curentului electric absorbit , în două categorii :

- receptoare neliniare de gradul 1 (maşina de spălat , aspiratorul);
- receptoare neliniare de gradul 2 (televizorul, lampa fluorescentă compactă cu balast electronic).

Legea de variaţie a spectrului armonic A(n) :

- pentru receptoarele din prima categorie, este de forma :

$$A(n) = A(1).e^{-a(n-1)}$$

(a=0,7 pentru maşina de spălat; a=1 pentru aspirator)

- pentru receptoarele din cea de a doua categorie :

$$A(n) = A(1)\cdot e^{-b(n^2-1)}$$

(b=0,02 pentru televizor; b=0,01 pentru lămpi fluorescente compacte cu balast electronic).

Nivelul de emisie al unui aparat electrocasnic , considerat ca o sursă perturbatoare pentru reţea, este variabil în timp şi de la un aparat la altul , chiar dacă acestea sunt similare, cu atât mai mult cu cât condiţiile reale de utilizare diferă de condiţiile de încercare.

În consecinţă, se impun recunoaşterea naturii aleatoare şi stabilirea legii de variaţie a nivelului de emisie pentru fiecare sursă perturbatoare.

2. Evaluarea poluării armonice produse de aparatele electrocasnice în reţelele de medie tensiune

Metoda de evaluare a poluării armonice produse de aparatele electrocasnice în reţelele de medie tensiune presupune cunoscute:

- numărul de abonaţi *N* alimentaţi de acelaşi transformator al postului de transformare;
- puterea de scurtcircuit S_{sc} la nivelul barelor de medie tensiune;
- încărcarea reţelei ;
- coeficientul de simultaneitate de funcţionare într-o anumită perioadă calendaristică.

Măsurători efectuate în reţeaua de medie tensiune [4,5] confirmă datele teoretice privind faptul că cea mai importantă, prin amplitudinea sa, este armonica de rangul 5, care afectează tensiunea de pe barele de alimentare. În acest sens, estimarea armonicii de rang 5 în curba de tensiune are o importanţă deosebită.

Ca exemplu, se determină, pentru reţeaua de medie tensiune, nivelul armonicii de rang 5 de tensiune, valoare care nu este depăşită cu o probabilitate de 95 %. Se consideră următorii parametri uzuali ai unei reţele de medie tensiune:

- puterea de scurtcircuit MT (20 kV) variind între 100 şi 200 MVA;
- reţea încărcată între 30 şi 70 % din puterea nominală a transformatorului (S_n = 36 MVA), care alimentează reţeaua de MT;
- reţea ideal compensată, oricare ar fi încărcarea sa;
- 3700 de abonaţi casnici pe fiecare fază a reţelei de joasă tensiune, care injectează, între orele 20 şi 22, în perioada de iarnă (coeficient de simultaneitate , determinat experimental k = 0,70), acelaşi curent armonic de rang 5, având următoarele caracteristici (se admite că mărimile sunt definite de o curbă normală de repartiţie Gauss).

Modul: m = 0,30 A şi σ = 66 mA

Defazaj: m = 0° şi σ = 15°

Valoarea armonicii de rangul 5 a intensităţii curentului injectat în reţeaua de medie tensiune de consumatorii casnici echipaţi cu aparatele clasice poate fi determinată cu relaţia :

$$I_{5/95\%} = 0{,}0079 * (k*N)^{0{,}95}, \text{ (MT/20 kV)}$$

unde :

$I_{5/95\%}$ este rezultanta curenţilor armonici, de rang 5, injectaţi de ansamblul abonaţilor casnici, valoare care nu este depăşită cu probabilitate de 95 %;

N este numărul de abonaţi casnici pe fază;

k reprezintă coeficientul de simultaneitate de funcţionare.

Valoarea componentei armonice de rangul 5 a tensiunii se calculează cu relaţia :

$$U_{5/95\%} = Z_5 * I_{5/95\%},$$

unde :

Z_5 reprezintă impedanţa reţelei văzută de la nivelul barelor de MT, pentru armonica de rang 5.

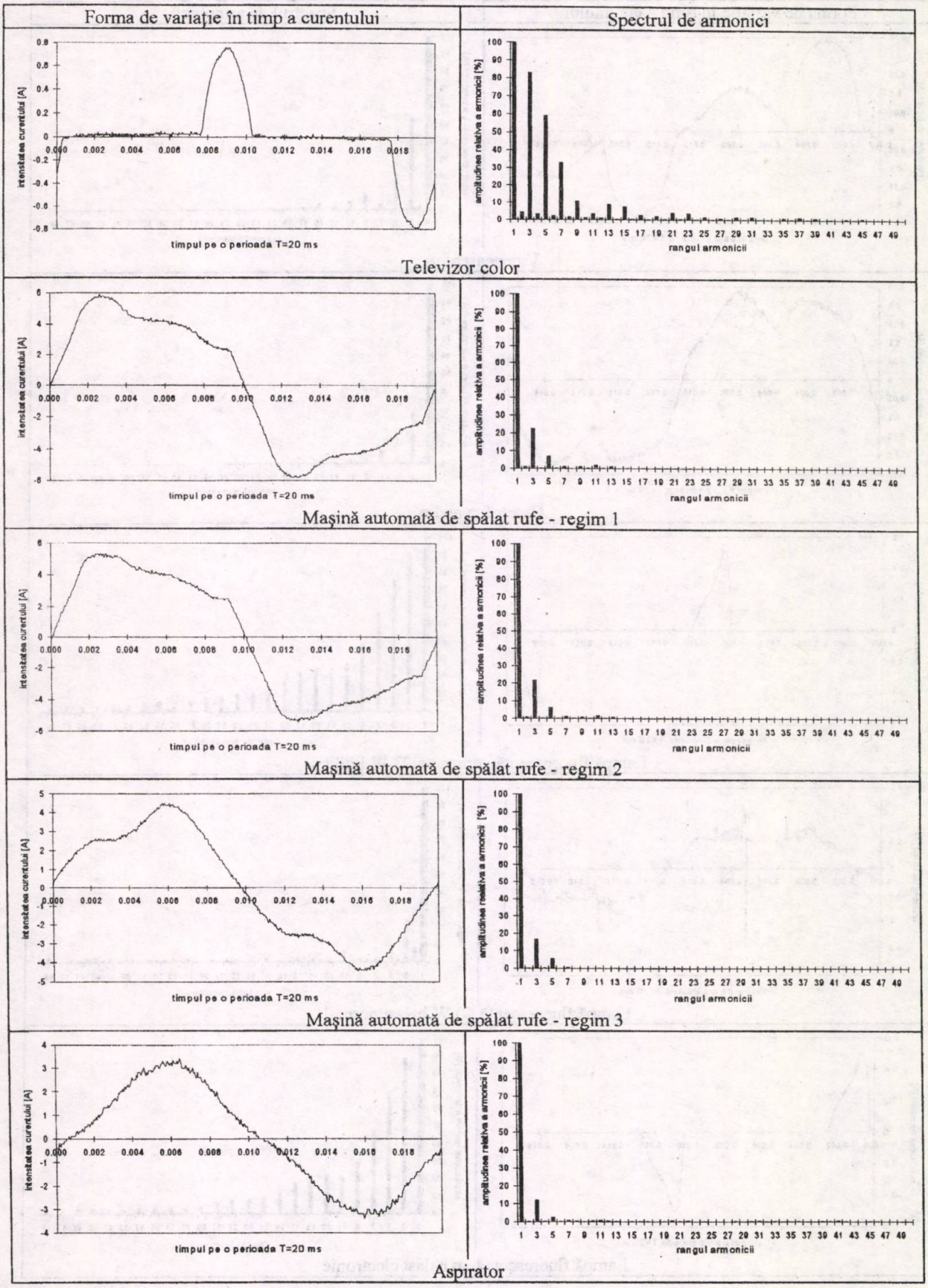

Forma de variaţie în timp a curentului
Spectrul de armonici
intensitatea curentului [A]
timpul pe o perioada T=20 ms
amplitudinea relativa a armonici [%]
rangul armonicii
Televizor color
Maşină automată de spălat rufe - regim 1
Maşină automată de spălat rufe - regim 2
Maşină automată de spălat rufe - regim 3
Aspirator

Fig.1.

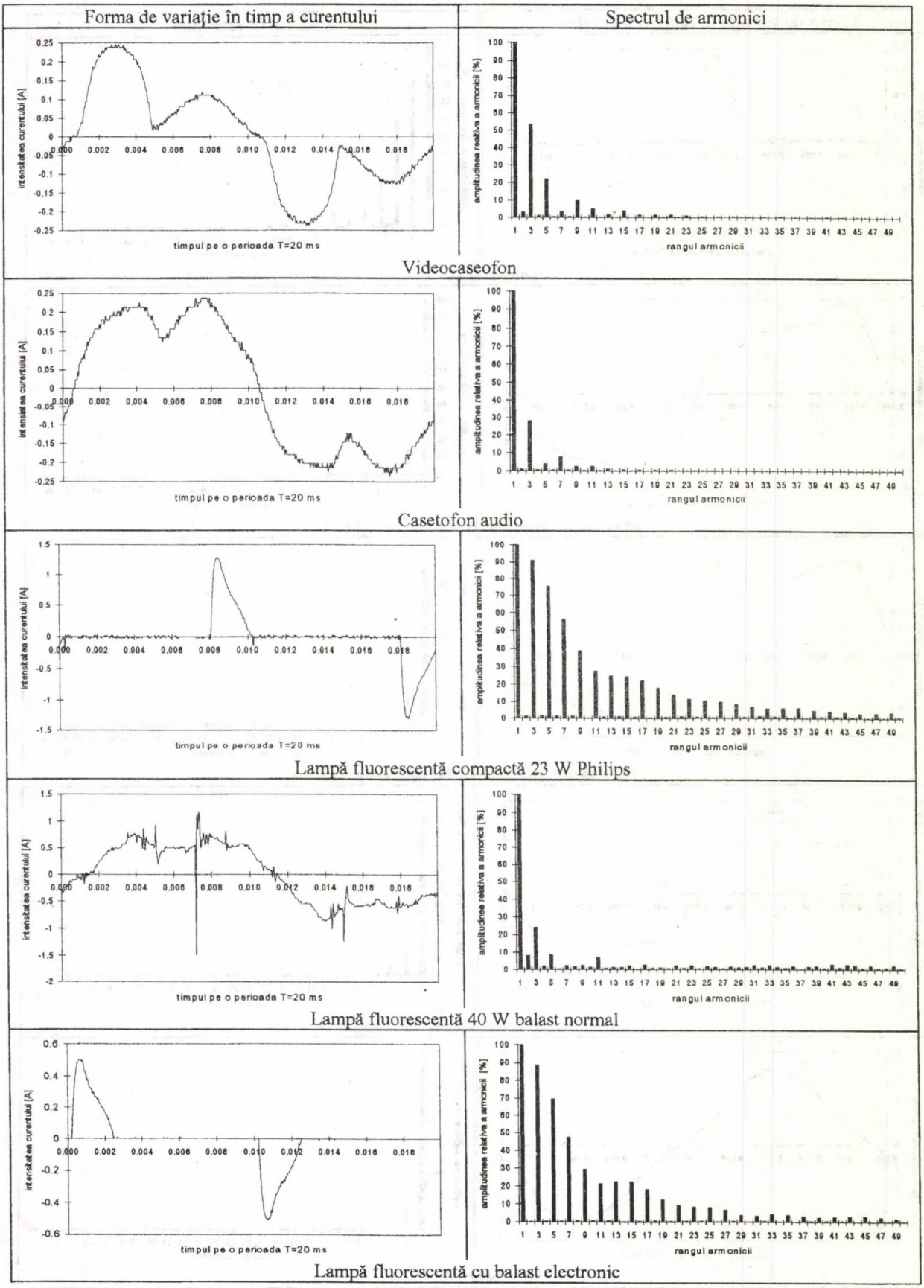


Fig.1 (continuare)

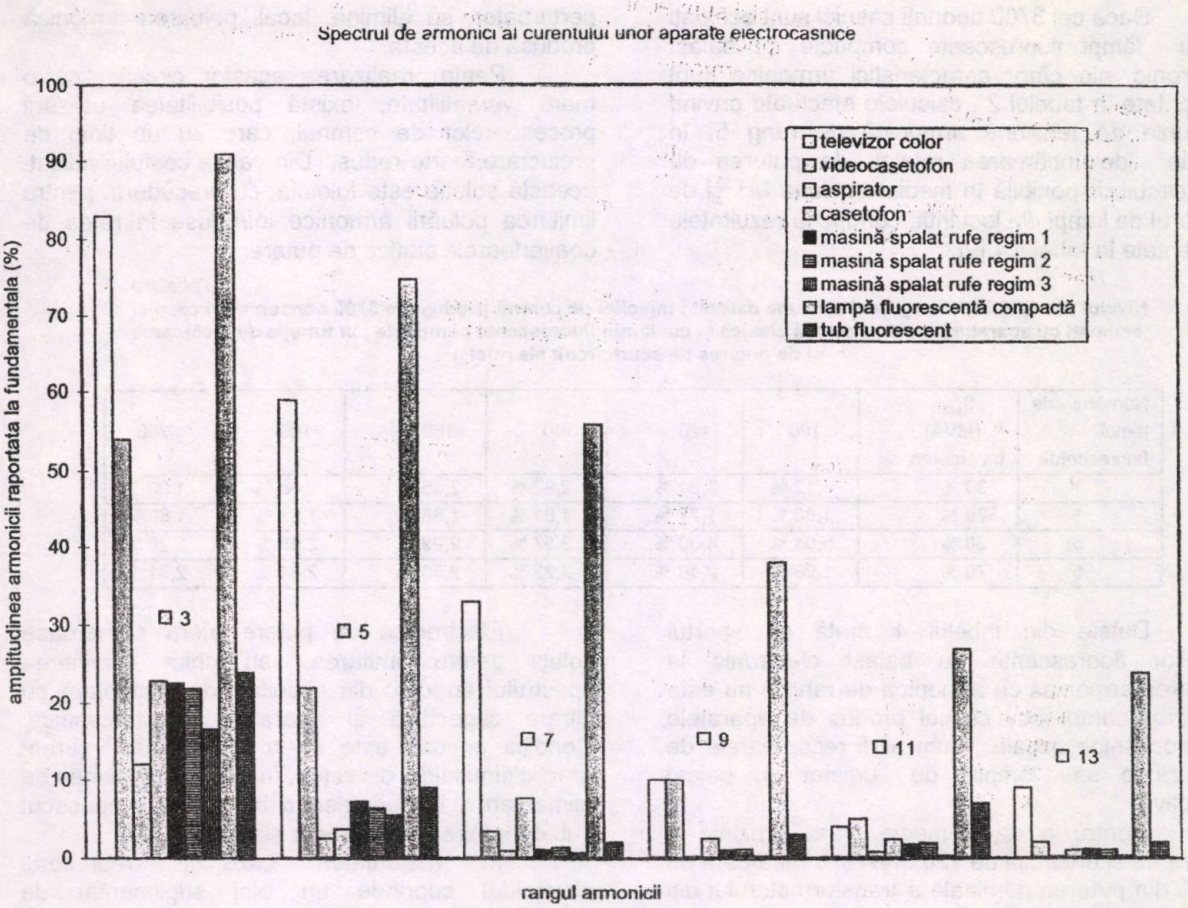


Fig.2.

Variind puterea de scurtcircuit, nivelul armonicii de rang 5 de tensiune , pentru încărcarea reţelei de 30 % şi de 70 % este indicat în tabelul 3 [8].

tensiune către medie tensiune şi se însumează fazorial cu cele provenind de la joasă tensiune.

Pentru a compara calculele teoretice cu determinările experimentale, este necesară

Tabelul 3

Nivelul armonicii de rangul 5 de tensiune , rezultată din injecţia de curenţi produşi de 3700 abonaţi casnici , în funcţie de încărcarea şi de puterea de scurtcircuit pe barele de medie tensiune

S_{sc}(MVA) Incărcarea	100	120	140	160	180	200
30 %	4,10 %	3,49 %	2,90 %	2,43 %	2,07 %	1,79 %
70 %	1,59 %	1,70 %	1,80 %	1,87 %	1,90 %	1,88 %

Teoretic, nivelul perturbaţiilor în reţeaua de medie tensiune este datorat, pe de o parte, abonaţilor casnici racordaţi în aval faţă de transformatorul postului, şi , pe de altă parte, de perturbaţiile provenind din reţeaua de înaltă tensiune.

Armonicile, care provin din reţeaua de înaltă tensiune, sunt datorate contribuţiei abonaţilor casnici racordaţi la alte posturi sursă alimentate de aceeaşi reţea de înaltă tensiune, sau de consumatorii industriali racordaţi direct în înaltă tensiune. Aceste armonici se transmit de la înaltă

separarea celor două părţi, şi luarea în consideraţie numai a contribuţiei abonaţilor casnici racordaţi în aval faţă de postul sursă considerat.

Calculele au fost validate de măsurători efectuate în reţea, în cadrul cărora s-a putut verifica faptul că originea perturbaţiei armonice a fost situată , în exclusivitate, în aval faţă de post.

Experimentări desfăşurate în reţelele de medie tensiune [5] au arătat că în 15 % dintre cazuri a rezultat un nivel maxim al armonicii 5 de tensiune cuprins între 5 şi 6 % între orele 20 şi 22 (nivelul de compatibilitate pentru această armonică este 6 %).

Dacă cei 3700 abonaţi casnici sunt echipaţi şi cu lămpi fluorescente compacte cu balast electronic, ale căror caracteristici armonice sunt prezentate în tabelul 2 , calculele efectuate privind nivelurile de tensiune armonică de rang 5, în funcţie de încărcarea reţelei, de puterea de scurtcircuit disponibilă în medie tensiune MT şi de numărul de lămpi din locuinţă, conduc la rezultatele prezentate în tabelul 4 [9].

perturbator, să elimine, local, poluarea armonică produsă de acesta.

Pentru realizarea acestor circuite, cu o mare versatilitate, există posibilitatea utilizării procesoarelor de semnal, care au un timp de prelucrare foarte redus. Din cauza costului ridicat, această soluţie este folosită, cu precădere, pentru limitarea poluării armonice introduse în reţea de convertoarele statice de putere.

Tabelul 4

Nivelul armonicii de rang 5 de tensiune datorată injecţiei de curenţi produşi de 3700 consumatori casnici, echipaţi cu aparatura electrocasnică clasică şi cu lămpi fluorescente compacte , în funcţie de încărcarea şi de puterea de scurtcircuit ale reţelei

Numărul de lămpi fluorescente	S_{scMT} (MVA) Incărcarea	100	120	140	160	180	200
1	30 %	4,12 %	3,51 %	2,92 %	2,45 %	2,08 %	1,80 %
1	70 %	1,60 %	1,71 %	1,81 %	1,88 %	1,91 %	1,89 %
5	30 %	5,04 %	4,30 %	3,57 %	2,99 %	2,55 %	2,20 %
5	70 %	1,96 %	2,10 %	2,22 %	2,30 %	2,34 %	2,31 %

Datele din tabelul 4 arată că aportul lămpilor fluorescente cu balast electronic la poluarea armonică cu armonica de rang 5 nu este neglijabil comparativ cu cel produs de aparatele electrocasnice uzuale , cum ar fi receptoarele de televiziune sau lămpile de iluminat cu balast inductiv.

Pentru o reţea medie, care prezintă o putere de scurtcircuit de 120 MVA şi o încărcare de 30 % din puterea nominală a transformatorului din postul sursă, perturbaţia armonică de rangul 5 creşte de la 3,49 % la 4,30 %, în ipoteza că fiecare abonat casnic posedă 5 lămpi fluorescente compacte cu balast electronic.

Desigur că rezultatele pot diferi, dacă se ia în consideraţie poluarea armonică produsă de abonaţii socio-culturali şi industriali, alimentaţi din acelaşi post sursă de transformare.

Pe baza acestor precizări, apare cu claritate faptul că nivelul armonicii 5 de tensiune este deja relativ ridicat pe barele de alimentare de MT. Extinderea utilizării aparatelor electrocasnice neliniare, în următorii ani, va contribui la creşterea acestui nivel.

3. Soluţii pentru diminuarea poluării armonice produse de aparate electrocasnice

Pentru a se face faţă condiţiilor impuse de normativele în vigoare, este necesară modificarea schemei interioare de redresare a receptoarelor.

Utilizarea de filtre pasive este dificilă şi neeconomică, dacă se doreşte eliminarea întregului spectru armonic nedorit.

În prezent, este intens cercetată soluţia de realizare a unor circuite, bazate pe filtre active, care, conectate în acelaşi punct cu receptorul

Electronica de putere oferă numeroase soluţii pentru limitarea sau chiar eliminarea spectrului armonic din circuitul de alimentare cu filtrare capacitivă al aparatelor electrocasnice. Condiţia impusă este de a absorbi un curent practic sinusoidal din reţea, în fază cu tensiunea de alimentare . Un asemenea montaj este cunoscut sub denumirea de redresor sinusoidal.

În majoritatea cazurilor, redresorul sinusoidal cuprinde un etaj suplimentar de conversie între puntea redresoare cu diode şi condensator /10-11/.

În figura 3 sunt prezentate două dintre soluţiile posibile, pentru obţinerea unui proces de redresare cu o componenţă spectrală redusă. Schemele din figura 3 au următoarele avantaje principale :

* armonicile de rang inferior nu apar în spectrul curentului absorbit;
* tensiunea de ieşire este reglabilă;
* asigură protecţia în cazul scurtcircuitelor sarcinii şi controlul curentului de pornire.

În ambele cazuri indicate în fig.3, tranzistorul T are rol de chopper, asigurând, prin modificarea duratei pauzei de conducţie (fig.3 a-chopper coborâtor) sau durata scurtcircuitului (chopper ridicător),modificarea valorii medii a curentului de alimentare a condensatorului C,având conectată în paralel sarcina S.

Tranzistorul T este comandat pe bază cu un semnal de frecvenţă mult mai mare decât frecvenţa reţelei. Frecvenţa de eşantionare este limitată de performanţele tranzistorului de comutaţie. Se lucrează ,în prezent, cu frecvenţe de eşantionare, care pot depăşi 50 kHz.

Odată cu creşterea frecvenţei de eşantionare, scad inductivitatea bobinei L şi

capacitatea condensatorului C, astfel asigurându-se reducerea gabaritului şi costului montajului.

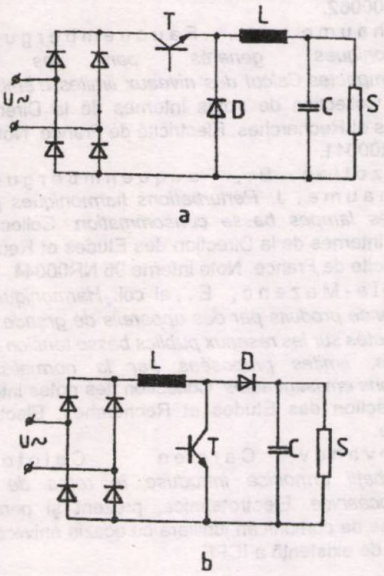


Fig. 3. Soluţii pentru realizarea unor redresoare "sinusoidale".

Deoarece frecvenţa de eşantionare, cu care este comandat tranzistorul T, este mult mai mare decât frecvenţa tensiunii din reţeaua de alimentare, se poate controla nivelul tensiunii pe sarcină, impunându-se în acelaşi timp ca forma curentului absorbit din reţeaua de alimentare să fie sinusoidală şi în fază cu tensiunea reţelei.

În general, este preferată schema indicată în figura 3 b, prezentând următoarele avantaje :

• forma curentului electric absorbit din reţeaua de alimentare este identică cu cea a curentului care parcurge bobina de inductivitate L, putând fi obţinut sinusoidal , fără o eşantionare vizibilă;

• tranzistorul trebuie să blocheze o tensiune egală cu tensiunea de ieşire, este uşor de comandat, deoarece emitorul tranzistorului bipolar este conectat la punctul de referinţă zero(masă);

• tensiunea de ieşire poate fi menţinută constantă pentru o gamă largă a tensiunii de intrare ;

• gabarit şi cost redus ale condensatorului de ieşire.

Numeroşi constructori de dispozitive semiconductoare: Siemens, Motorola, Micro-Linear, Unitrode, Cherry Semiconductor oferă circuite integrate , care realizează comanda tranzistorului T, ceea ce facilitează realizarea practică a structurii din figura 3 b.

În pofida acestor avantaje, există câteva inconveniente:

• necesitatea unui filtru de înaltă frecvenţă pentru a limita nivelul emisiei de înaltă frecvenţă în spaţiul înconjurător;

• tensiunea de ieşire trebuie să fie mai mare decât tensiunea de intrare;

• nu este posibil controlul curentului de pornire şi nu se limitează curentul de scurtcircuit;

• la funcţionarea în gol, tensiunea de ieşire poate deveni prea ridicată.

Concluzii

Dezvoltarea electronicii de putere şi folosirea dispozitivelor semiconductoare în schemele aparatelor electrocasnice sunt premise care conduc la creşterea numărului de sarcini neliniare racordate la reţelele de distribuţie şi, în consecinţă , la degradarea calităţii tensiunii, dacă nu se adoptă măsuri de diminuare a poluării armonice introduse de aceste echipamente de largă difuziune.

Înlocuirea iluminatului tradiţional cu lămpi fluorescente compacte, pentru reducerea consumului energetic, antrenează injecţie de curenţi armonici , deci o distorsiune a tensiunii pe barele de alimentare .

Menţinerea calităţii tensiunii este însă o cerinţă majoră , de stringentă actualitate. Dacă limitele de emisie nu vor diminua, furnizorul de energie electrică nu va putea garanta, în următorii 5 -10 ani , respectarea nivelului de compatibilitate în reţea. Deja, în noduri energetice din unele ţări (Japonia , Franţa) se constată atingerea nivelului de compatibilitate impusă de normativele CEI 1000-2-2 [5,6].

Această situaţie va avea trei consecinţe:

* riscul crescut de disfuncţionalitate pentru parcul de aparate existent;

* obligaţia, pentru constructori, de a mări nivelul de imunitate al aparatelor viitoare;

* riscul necesităţii unei reglementări mult mai "severe" , în sensul introducerii unei taxe de penalizare a poluării armonice de către furnizor.

Electronica de putere oferă însă numeroase posibilităţi pentru diminuarea poluării armonice introduse de aparatele electrocasnice. Se preconizează fie construcţia unor alimentări electronice proprii, fie realizarea unor circuite disponibile pe piaţă , la preţuri rezonabile.

Astfel, paralel cu eforturile furnizorilor de electricitate de ameliorare a calităţii energiei electrice livrate, trebuie urmărită menţinerea nivelurilor de emisie a perturbaţiilor, inclusiv prin limitarea poluării armonice produsă de aparatele şi echipamentele, care reprezintă sarcini neliniare.

BIBLIOGRAFIE

[1] * * * CEI 1000-2-2. *Compatibilité electromagnetique (CEM). Environnement.Niveaux de compatibilité pour les perturbations conduites basse frequence et la transmission de signaux sur les reseaux publics d'alimentation a basse tension.* Norme Internationale.

[2] Deflandre, T., Meunier, M., Lachaume, J. *Harmoniques sur les reseaux de distribution MT et BT- niveaux actuels et futurs.* Collection de notes internes de la Direction des Etudes et Recherches, Electricité de France. Note interne 93 NR 00016.

[3] Lachaume, J., Ollivier, D., Sultanem, F. *Contribution des appareils electrodomestiques à la perturbation harmoniques sur les reseaux publics.* Collection de notes internes de la Direction des Etudes et Recherches, Electricité de France. Note interne R2210R 1991.

[4] Lachaume, J., Meunier, M., Ollivier, D., Sultanem, F. *Mesures, dans les postes, des harmoniques engendres par les televiseurs.* Premiere conference internationale sur la qualite de service pour les applications de l'electricite.PQA Octobre 1991 - Ecole Superieure d'Electricité, Gif/Yvette.

[5] Bieth, J., Ollivier, D., Lachaume, J., Meunier, M. *Perturbations harmoniques sur ler reseaux francais. Etat des lieux .Analyses. Tendances.* CIGRE 36 - 205 - Septembre 1992 , Paris.

[6] Mashimoto, E ., Kawakami, N., Masada, E. *Etat actuel et estimation future des perturbations harmoniques au Japon.* CIGRE 36 - 301 - Septembre 1990 , Paris.

[7] Lachaume, J., Fauquembergue, P. *Harmoniques sur les reseaux éléctriques dus aux dispositifs de gestion performante de la charge.* Collection de notes internes de la Direction des Etudes et Recherches. Electricité de France. Note interne 94NR00062.

[8] Lachaume, J., Fauquembergue, P. *Harmoniques generés par les lampes fuocompactes.Calcul des niveaux limites d'emission par LBC.* Collection de notes internes de la Direction des Etudes et Recherches. Electricité de France. Note interne 95 NR00041.

[9] Chazottes, B., Fauquenmbergue, P., Lachaume, J. *Perturbations harmoniques produites par les lampes basse consommation.* Collection des notes internes de la Direction des Etudes et Recherches. Electricite de France. Note interne 95 NR00044.

[10] Lajoie-Mazenc, E., et col. *Harmoniques basse frequence produits par des appareils de grande diffusion connectés sur les réseaux publics basse tension : niveaux actuels, limites proposées par la normalisation et solutions envisageables.* Collection des notes internes de la Direction des Etudes et Recherches. Electricité de France.

[11] Golovanov, Carmen , Calotoiu, A. *Perturbaţii armonice introduse în reţea de aparate electrocasnice.* Electrotehnica, prezent şi perspective. Sesiune de comunicări jubiliară cu ocazia aniversării a 45 de ani de existenţă a ICPE.

Referent: dr. ing. Miron Laurenţiu Goia - GSCI, Bucureşti

(Primit la 18 decembrie 1995, acceptat la 25 martie 1996)

Informaţii

Numărul 1 , seria A, pe anul 1996, al revistei ENERGETICA conţine următoarele materiale:

Interviu luat de preşedintele Colegiului de Redacţie al revistei Energetica domnului dr.ing.Victor Romert, preşedintele RENEL

Număr special "*Probleme actuale şi de perspectivă ale hidroenergeticii româneşti*"

DUMITRU CEZAR IONESCU : Editorial

PAUL GHEORGHIESCU: Schiţă de strategie a dezvoltării sectorului hidroenergetic în perioada 1995 - 2005

DUMITRU SPIRIDON: Necesitatea realizării unei centrale hidroelectrice cu acumulare prin pompaj de mare putere în România

IOAN SOICULESCU, MARIA DUMITRESCU: Soluţii tehnice pentru creşterea producţiei de energie electrică la centralele hidroelectrice în funcţiune

GHEORGHE LUCA: Consideraţii privind calculul eficienţei economice a CHE din România

VALERIU BOGAN, IRINA BOGAN: Gradul actual de valorificare a potenţialului hidroenergetic al României cu evidenţierea unor aspecte care justifică amenajarea în continuare a resurselor hidroenergetice ale ţării

DIN ENERGETICA MONDIALĂ

ISTORIA ENERGETICII

PAUL CARTIANU: O carte de demult

PUNCTE DE VEDERE

GHEORGHE COCOŞ: Folosirea Fondului Special de Dezvoltare a SEN în interesul consumatorului

INFORMAŢII

Dan Pillat: Precizări privind criteriile de evaluare a rentabilităţii proiectelor energetice

PERTURBAŢII ELECTROMAGNETICE PRODUSE DE CONSUMATORII RACORDAŢI LA REŢELELE DE JOASĂ ŞI MEDIE TENSIUNE. EFECTUL UTILIZĂRII TEHNOLOGIILOR MODERNE LA CONSUMATORI

prof. dr. ing. MARILENA UNGUREANU, conf. dr. ing. CORNEL TOADER,
ş.l. ing. ŞTEFANIA IOAN, as. ing. RADU POPA, ş.l. ing. MIRCEA SCURARIU*

Problema perturbaţiilor electromagnetice generate de consumatorii racordaţi la reţelele de distribuţie a energiei electrice de joasă tensiune reprezintă una din cele mai importante preocupări a celor care exploatează reţelele, precum şi a forurilor internaţionale. Problema se încadrează în cuprinzătoarea temă a compatibilităţii electromagnetice, perturbaţiile produse la diverse echipamente propagându-se în întreaga reţea de distribuţie şi jenând funcţionarea corectă a celorlalţi consumatori.

Lucrarea analizează perturbaţiile provenite de la consumatori industriali, care fie sunt alimentaţi la 50 Hz, dar prezintă neliniarităţi (cazul unor instalaţii electrotermice), fie că sunt prevăzuţi cu reglaj continuu de putere (cazul acţionărilor electrice cu reglaj electronic de turaţie).

Au fost puse în evidenţă soluţii pentru ameliorarea regimului deformant pe care aceşti consumatori îl generează.

Astfel, instalaţiile electrotermice cu inducţie pot fi racordate la reţeaua de distribuţie de 50 Hz prin scheme de simetrizare în stea, ramurile stelei putând să conţină elemente de filtrare şi de reglaj al puterii.

Utilizarea filtrelor rezonate în cazul motoarelor asincrone mari prevăzute cu reglaj electronic de turaţie şi cu elemente de compensare capacitivă face ca rezonanţa să se deplaseze pe o armonică; se sugerează folosirea filtrelor active.

The electromagnetic disturbances resulted from the consumers connected to low and medium voltage electric energy distribution networks represent an important concern for those who operate these networks as well as for the international organisms. This problem aims at the comprehensive theme of the electromagnetic compatibility because the disturbances generated by different equipment are transmitted in the whole distribution network, impeding the consumers to have a proper operation.

The paper analyses the disturbances resulted from the industrial consumers which are either supplied by 50 Hz but show nonlinearities (e.g. some of the electrothermal facilities) or they are provided with power continous control (e.g. the power drive proveded with electronic rotation control).

Several solutions for improving the distorting regime generated by these consumers, are advanced.

Consequently, the electrothermal facilities with induction can be connected to 50 Hz power distribution network by star symmetrization diagrams and the star branches can have filtration power control elements.

The use of the resonant filters in case of big asynchronous motors provided with electronic rotation control and capacitive compensation elements makes the reconance move on a lower harmonic; the application of active filters, is suggested.

Descriptori: perturbaţii electromagnetice, reţele electrice, tehnologii moderne de utilizare

Problema perturbaţiilor electromagnetice generate de consumatorii racordaţi la reţelele de distribuţie a energiei electrice de joasă şi medie tensiune constituie una din preocupările importante, atât ale electricienilor care exploatează reţelele electrice, cât şi a forurilor naţionale şi internaţionale de specialitate. Acestea din urmă încadrează problema perturbaţiilor electromagnetice în marea temă a compatibilităţii electromagnetice [4].

* Universitatea "Politehnica", Bucureşti, Facultatea de Energetică

Acestă încadrare se justifică prin faptul că perturbaţiile electromagnetice produse de diversele echipamente se vor propaga în însăşi reţeaua de distribuţie a energiei electrice, jenând funcţionarea corectă a altor consumatori.

1. Identificarea perturbaţiilor pe categorii de consumatori

Diversitatea consumatorilor industriali care provoacă perturbaţii în reţeaua de alimentare face necesară gruparea lor după diverse criterii, cum ar fi cel al cauzelor care le-au generat. Aceste cauze se pot clasifica în două mari categorii [1]:

- fenomene aleatoare;
- fenomene cu caracter permanent sau semipermanent.

A. Fenomenele aleatoare au caracter accidental. Exemplu: trăsnetul, defectele care iau naştere fie în elementele reţelei (linii, cabluri, transformatoare etc.), fie în instalaţiile de la consumator. Perturbaţiile generate sunt:

A.1. goluri de tensiune şi întreruperi bruşte, care rezultă în principal din defecte trecătoare în reţele şi care provoacă funcţionarea protecţiilor şi automatizărilor de repunere sub tensiune;

A.2. întreruperile de lungă durată (>1 min), care rezultă din defecte permanente în reţele şi care necesită intervenţia omului;

A.3. supratensiuni tranzitorii, fie de origine atmosferică, fie, mai frecvent, datorate comutaţiilor echipamentelor electrice.

B. Fenomenele permanente sau semipermanente există pe perioade bine determinate şi sunt generate de diferite aparate instalate mai ales la utilizatorii de energie electrică. După caz, aceste aparate preiau curenţii nesimetrici pe cele trei faze sau absorb curenţi a căror amplitudine variază brusc cu o modificare importantă, sau a căror formă de undă este mult diferită de cea sinusoidală. Unele echipamente pot prezenta unul sau două din aspectele de mai sus, sau chiar ansamblul lor.

Perturbaţiile care rezultă constau în:

B.1. variaţii lente de tensiune care rezultă din variaţia sarcinii; ele sunt conectate cu ajutorul regulatoarelor de sarcină care echipează unele transformatoare;

B.2. căderi de tensiune rapide care rezultă la comutaţia sarcinilor mari (de exemplu: pornirea motoarelor mari);

B.3. fluctuaţii rapide de tensiune produse de echipamente cu variaţie rapidă a sarcinii (cuptoare cu arc, echipamente de sudare, instalaţii electrotermice cu rezistoare, prevazută cu graduatoare) şi responsabile de fenomenul de flicker;

B.4. armonici generate îndeosebi de convertizoarele statice de putere (punţi cu diode sau tiristoare),

B.5. dezechilibre de tensiune care rezultă din alimentarea sarcinilor dezechilibrate (în special a sarcinilor monofazate, alimentate între fazele reţelelor, cum ar fi instalaţii electrotermice cu inducţie sau staţiile de tracţiune feroviară la frecvenţă industrială).

În acelaşi timp, aceste perturbaţii afectează şi funcţionarea altor consumatori din aceeaşi reţea de alimentare.

Perturbaţiile de tensiune cel mai frecvent întâlnite sunt

1 - variaţii rapide şi goluri de tensiune;
2 - prezenţa armonicelor;
3 - nesimetrii ale tensiunii de alimentare.

Majoritatea receptoarelor de energie electrică, prin principiul lor de funcţionare, datorită neliniarităţii circuitelor lor magnetice şi electrice sau/şi realizării unor concepţii moderne ce includ elemente de reglare-control al mărimilor de stare necesare pentru asigurarea unei funcţionări elastice, sunt principalii perturbatori ai reţelelor electrice de distribuţie, generând perturbaţii ca cele descrise deja anterior .

2. Analiza perturbaţiilor provocate de diferiţi consumatori

Sunt analizate perturbaţiile provenind de la consumatori industriali grupaţi în:

- consumatori care prezintă nelinearităţi şi sunt alimentaţi la 50 Hz;
- consumatori prevăzuţi cu reglaj continuu de putere.

2.1. Consumatori care prezintă nelinearităţi şi sunt alimentaţi la 50 Hz.

Cazul instalaţiilor electrotermice cu inducţie

Instalaţiile electrotermice cu inducţie reprezintă consumatori de mare putere, nesimetrici, alimentaţi de obicei la 50 Hz, între două faze ale unei reţele trifazate [2]. Pentru a echilibra pe cele trei faze puterea absorbită de instalaţie este folosită uzual schema de alimentare în punte Steinmetz (fig.1).

Datorită caracterului inductiv al instalaţiei, în paralel cu aceasta se montează o capacitate (C_2) pentru compensarea puterii reactive. Valoarea

acestei capacităţi rezultă din condiţia de compensare a componentei inductive a curentului de sarcină de către curentul prin capacitate, la frecvenţa de alimentare, condiţie ce conduce la relaţia:

$$C_2 = \frac{L_2}{R_2^2 + \omega^2 \cdot L_2^2}, \qquad (1)$$

unde L_2 şi R_2 sunt inductanţa şi respectiv rezistenţa cuptorului, iar ω este pulsaţia reţelei de alimentare.

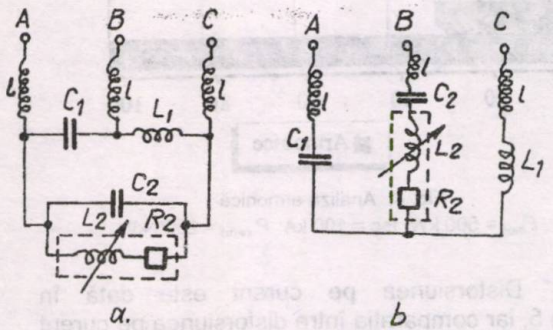


Fig.1

Pentru echilibrarea pe cele trei faze a sarcinii trebuie ca impedanţele între faze să fie egale, rezultând condiţia:

$$\omega \cdot L = \frac{1}{\omega \cdot C_1} = R_2 . \qquad (2)$$

Dacă această schemă ar conţine numai elemente lineare şi dacă tensiunile de alimentare ar fi perfect sinusoidale nu ar exista regim deformant în funcţionarea montajului. În plus, curenţii absorbiţi de punte pe cele trei faze ar fi perfect simetrici dacă elementele de simetrizare (C_1 şi L_1) au fost corect alese. Sunt însă frecvente cazurile în care la funcţionarea instalaţiilor de acest tip au fost puşi în evidenţă curenţi armonici apreciabili. Aceşti curenţi pot fi cauzaţi de un sistem de tensiuni de alimentare *nesinusoidale* sau de *nelinearitatea* sarcinii. Aceasta din urmă are la bază fenomenul de saturaţie magnetică a oţelului cuvei de galvanizare, ce se traduce într-o variaţie a impedanţei globale a cuptorului în funcţie de intensitatea câmpului magnetic din inductor, deci de curentul I_{L2}.

Reactanţa capacitivă fiind invers proporţională cu frecvenţa ($|X_c| = \frac{1}{\omega \cdot C}$), capacităţile C_1 şi C_2 vor reprezenta căi preferenţiale pentru curenţii armonici, comportându-se ca filtre de tip "trece sus" dacă nu sunt înseriate cu elemente rezistive sau inductive.

Schema clasică de punte Steinmetz prezintă următoarele dezavantaje:

- existenţa în montaj a două ramuri ce conţin numai capacităţi lasă posibilitatea de circulaţie a curenţilor armonici cauzaţi de tensiuni de alimentare nesinusoidale, precum şi a celor cauzaţi de nelinearitatea inductorului;
- datorită aceloraşi ramuri pur capacitive curenţii absorbiţi pe fază la punerea sub tensiune pot depăşi cu mult valorile de regim;
- schema se pretează greu unei modernizări a reglajului de putere, constând în folosirea variatoarelor de tensiune cu tiristoare montate antiparalel.

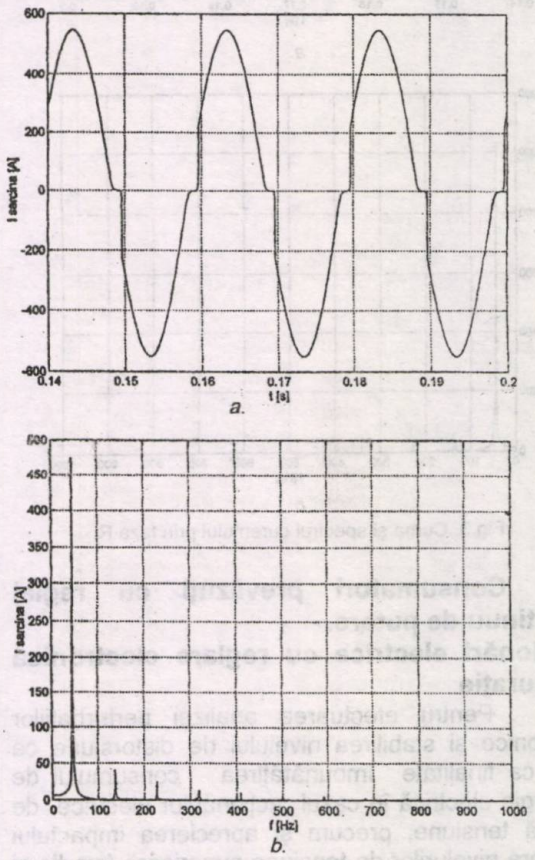


Fig.2. Curba şi spectrul curentului prin inductorul nelinear.

Figura 2 prezintă curba şi spectrul curentului prin inductorul nelinear (lucrând în zona de saturaţie) al unui cuptor de 150 kW alimentat de o punte Steinmetz (având următoarele caracteristici: L_1=3,119 mH, C_1=3248 μF, R_2=0,98 ohm, L_2=5,25 mH, C_2=1471 μF) cu un sistem de tensiuni simetrice şi sinusoidale la 50 Hz, 220 V. Coeficientul de distorsiune al acestei curbe este de 8,88 %. (Schema a fost modelată cu ajutorul programului de calcul specializat tip SPICE).

Curba şi spectrul curentului prin faza *R* sunt prezentate în figura 3. Coeficientul de distorsiune al acestei curbe este de 4,3 %.

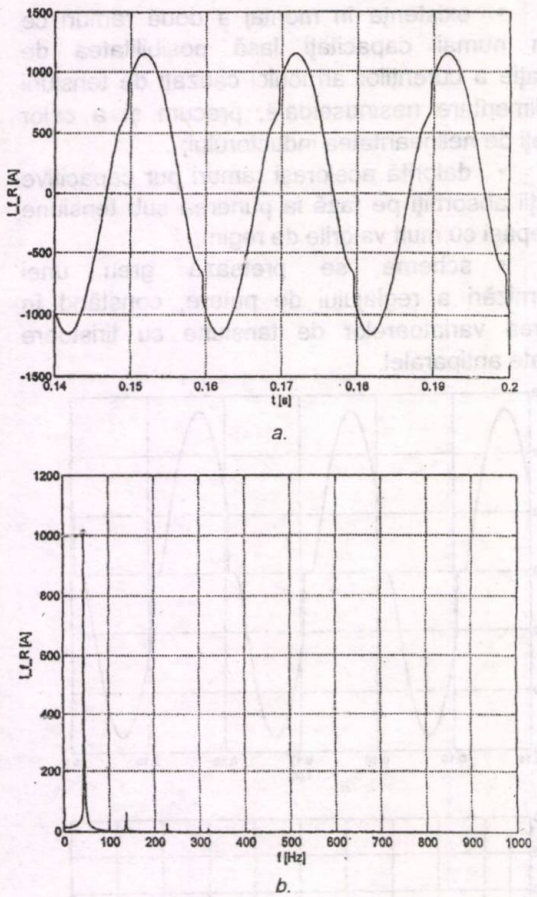


Fig.3. Curba şi spectrul curentului prin faza R.

2.2. Consumatori prevăzuţi cu reglaj continuu de putere. Acţionări electrice cu reglare electronică de turaţie

Pentru efectuarea analizei perturbaţiilor armonice şi stabilirea nivelului de distorsiune ce are ca finalitate îmbunătăţirea consumului de energie electrică în cazul acţionărilor electrice de joasă tensiune, precum şi aprecierea impactului asupra nivelurilor de tensiune superioară (medie şi înaltă tensiune) s-a utilizat programul de calcul HARMONICS, necesitând cunoaşterea următoarelor date prealabile:

- tipul acţionării şi a consumatorului;
- puterea de scurtcircuit la bara de alimentare;
- valorile maxime de putere (curba de sarcină);
- reducerea estimată a puterii la vârf cerută la consumator ;
- puterea totală instalată pe bară.

În figura 4 se prezintă conţinutul de armonici pentru un motor de 500 kW, la o putere cerută pe bară de 2000 kW şi un curent de scurtcircuit de 100 kA.

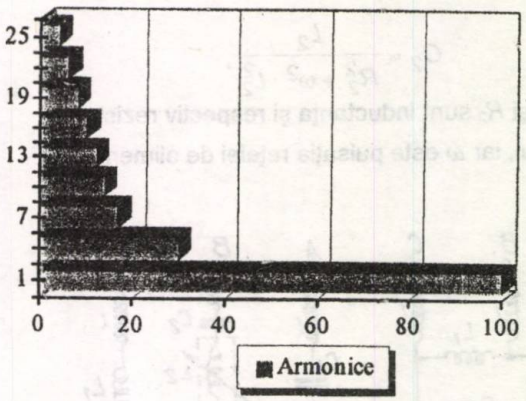


Fig. 4. Analiza armonică :
P_{mot} = 500 kW; Isc = 100 kA; P_{cerut} = 2000 kW.

Distorsiunea pe curent este dată în figura 5, iar comparaţia între distorsiunea pe curent şi pe tensiune în funcţie de numărul de motoare conectate la bară, în figura 6.

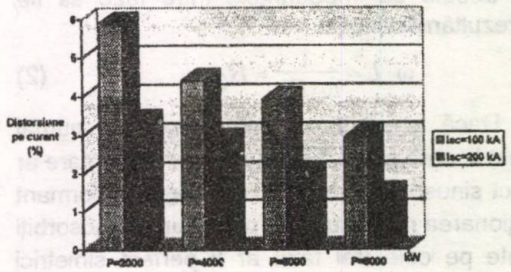


Fig.5. Variaţia coeficientului de distorsiune a curentului.

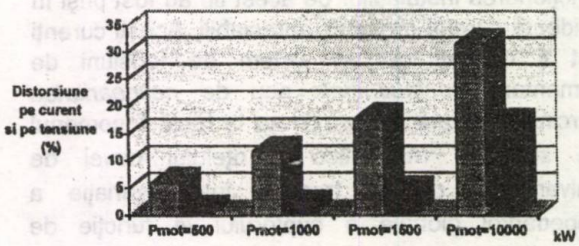


Fig. 6. Valori comparative ale distorsiunii curentului şi tensiunii funcţie de puterea motoarelor.

Depăşirea limitei date de normativele CEI (5%) datorată numărului mare de motoare cu caracteristică neliniară racordate la bară este evidenţiată în figura 7.

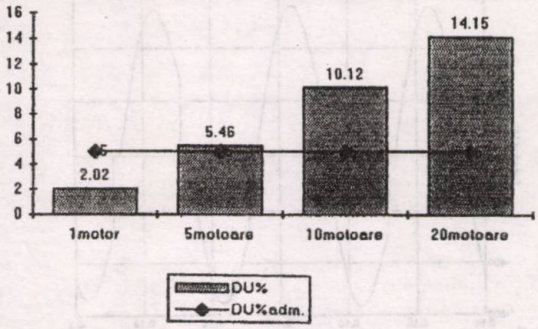


Fig. 7. Variaţia coeficientului de distorsiune al tensiunii în funcţie de numărul consumatorilor racordaţi la bara de J.T.

3. Condiţii generale de racordare a consumatorilor poluanţi armonic

La apariţia frecvenţelor armonice, impedanţa reţelei creşte, asfel încât curenţii armonici care iau naştere vor duce la tensiuni armonice importante. Mărimea care trebuie să fie recunoscută ca principală caracteristică a efectului nociv al distorsiunii armonice este valoarea tensiunilor armonice suprapuse peste tensiunea sinusoidală a reţelei de la care sunt alimentaţi consumatorii.

Tabelul 1 prezintă nivelurile de compatibilitate electromagnetică din punctul de vedere al regimului deformant, atât pentru reţeaua de I.T., cât şi pentru cea de F.I.T. (după [3,4, 5]).

Ele sunt exprimate în procente faţă de frecvenţa fundamentală de 50 Hz. Se indică de asemenea şi coeficientul de distorsiune armonică, a cărei probabilitate de depăşire este estimată la 5%.

În ţări ca Franţa [1] se preconizează următoarele valori limită pentru perturbaţiile armonice generate de fiecare utilizator separat, în punctul său de racord:

- armonice pare :

$$\frac{U_h}{U_i} \le 1\% \; ; \qquad (3)$$

- armonice impare :

$$\frac{U_h}{U_i} \le 0.6\% \qquad (4)$$

- coeficientul de distorsiune :

$$\sqrt{\sum (\frac{U_h}{U_i})^2} \le 1.6\% \; . \qquad (5)$$

Predeterminarea analitică a poluării armonice este întotdeauna necesară. Se poate totuşi considera că limitele admisibile nu vor fi depăşite, dacă condiţiile din tabelul 2 vor fi respectate.

Asupra curenţilor armonici rezultaţi în reţeaua de alimentare se poate acţiona, prin:

- limitarea la maximum a amplitudinii lor, prin utilizarea de convertizoare statice de frecvenţă (CSF) cu indici de pulsaţie ridicaţi, care injectează curenţi armonici de amplitudine foarte redusă sau prin utilizarea mai multor convertizoare, ale căror transformatoare de alimentare au în secundar cuplaje care permit eliminarea armonicelor de rang inferior;

Tabelul 1

Niveluri de compatibilitate ale reţelelor după [3,4]

Armonici impare ≠ 3k					Armonici impare = 3k					Armonici pare				
Rang	JT -MT [3, 4] *			IT	Rang	JT - MT [3, 4] *			IT	Rang	JT - MT [3, 4] *			IT
	Cl1	Cl2	Cl3			Cl1	Cl2	Cl3			Cl1	Cl2	Cl3	
5	3	6	3	2	3	3	5	6	2	2	2	2	3	1.5
7	3	5	7	2	9	1.5	1.5	2.5	1	4	1	1	1.5	1
9	3	3.5	5	1.5	15	0.3	0.3	2	0.3	6	0.5	0.5	1	0.5
13	3	3	4.5	1.5	21	0.2	0.2	1.75	0.2	8	0.5	0.5	1	0.2
17	2	2	4	1	>21	0.2	0.2	1	0.2	10	0.5	0.5	1	0.2
19	1.5	1.5	4	1						>10	2	0.2	1	0.2
23	1.5	1.5	3.5	0.7										
25	1.5	1.5	3.5	0.7										
>25	0.2 + 12.5 / *h*		$5\sqrt{11/h}$	0.2 + 2.5 / *h*										
Coeficientul de distorsiune global ≤ 3%														

Observaţii: * Clasele de mediu electromagnetic sunt conform CEI [4].

** Nivelurile de compatibilitate din PE - 143 se regăsesc la mediul electromagnetic de clasa 2, care corespunde mediului electromagnetic industrial şi al reţelelor de distribuţie.

*** Nivelurile de la clasa 3 corespund următoarelor condiţii:

- cea mai mare parte a sarcinilor sunt prevăzute cu convertizor;
- există maşini turnate;
- motoarele mari sunt frecvent pornite;
- sarcinile au variaţie foarte rapidă.

• admiterea de frecvenţe de rezonanţă ridicate, în măsura în care la aceste frecvenţe curenţii armonici injectaţi au amplitudini reduse.

Tabelul 2

Valori admisibile ale S_{sc}/S_n pentru o poluare acceptabilă

	Redresare prin punte	
	Hexafazat	Dodecafazat
Reţea IT	> 240	> 150
Reţea MT	> 360	> 225
Reţea JT	> 120	> 75

Pentru aceasta, puterea Q a condensatoarelor racordate la barele la care sunt racordate şi echipamentele generatoare de curenţi armonici nu trebuie să depăşească cu mult puterea de scurtcircuit în punctul de racord. Frecvenţa de rezonanţă f_0 se calculează cu:

$$f_0 = 50\sqrt{\frac{S_{sc}}{Q}} \qquad (6)$$

Dacă nu este posibilă reducerea impedanţei armonice a reţelei în jurul frecvenţelor critice prin metode simple, trebuie să se recurgă la soluţii mai elaborate.

4. Soluţii de reducere a perturbaţiilor provocate de consumatorii analizaţi

4.1. Modificarea conexiunilor la consumator. Cazul instalaţiei electrotermice cu inducţie

Regimul armonic al unei punţi Steinmetz alimentând instalaţii electrotermice cu inducţie are la origine nelinearităţile sarcinii şi existenţa unor ramuri pur inductive. Dacă sarcina (inductorul) este greu de linearizat, pot fi însă efectuate următoarele modificări în schema de alimentare:

• capacitatea C_2 pentru compensarea puterii reactive să fie conectată *în serie* cu sarcina, valoarea sa rezultând din relaţia $\omega \cdot C_2 = \frac{1}{\omega \cdot L_2}$;

• în locul punţii Steinmetz clasice, care prezintă o ramură pur capacitivă între două faze ale reţelei de alimentare, poate fi folosită *echilibrarea în stea* (vezi fig 1.b) [2];

• montarea unui filtru la bornele sarcinilor neliniare limitează curenţii armonici injectaţi de sarcină în reţea, aceştia închizându-se prin filtru.

Figura 8 prezintă curba şi spectrul curentului prin inductorul nelinear al unui cuptor de 150 kW echilibrat în stea, alimentat (având următoarele caracteristici: L_1 = 3.119 mH, C_1 = 3248 μF, R_2 = 0.98 ohm, L_2 = 5.25 mH, C_2 = 1930 μF) cu un sistem de tensiuni simetrice şi sinusoidale la 50 Hz, 220V. Coeficientul de distorsiune al acestei curbe este de 7,78%.

Curba şi spectrul curentului prin faza R sunt prezentate în figura 9. Coeficientul de distorsiune al acestei curbe este de 3,83 %.

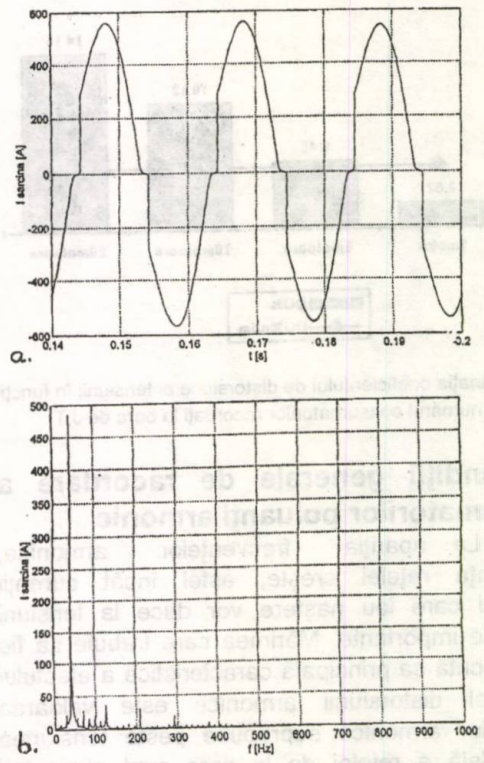


Fig. 8. Curentul şi spectrul curentului prin inductor echilibrat în stea.

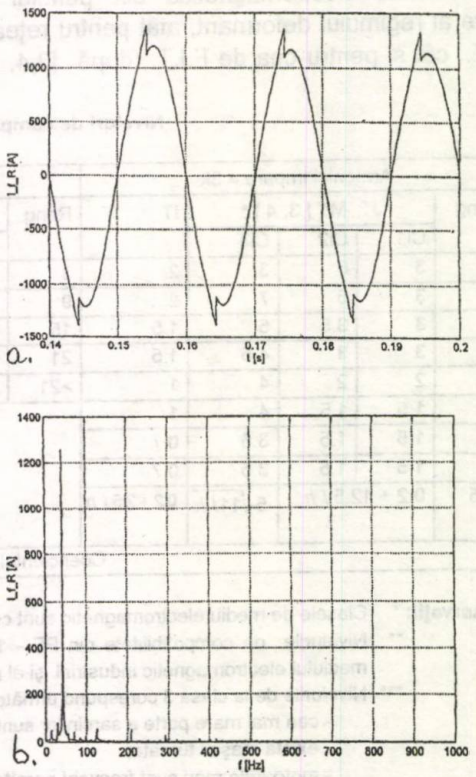


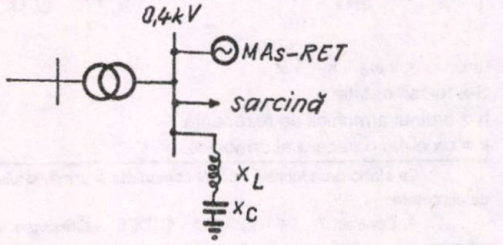
Fig.9. Curentul şi spectrul curentului prin faza R a reţelei de alimentare.

4.2 Utilizarea filtrelor rezonante

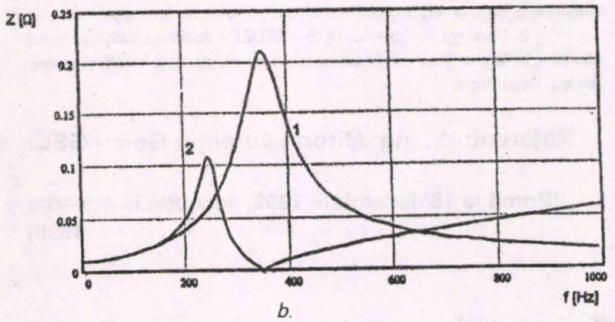
Utilizarea filtrelor rezonante trebuie făcută cu atenţie îndeosebi în cazul consumatorilor de tipul motoarelor prevăzute cu reglaj electronic de turaţie (RET). Datorită factorului de putere scăzut la bornele acestora se prevede compensarea capacitivă. Aceasta duce la apariţia unei rezonanţe paralel pe o frecvenţă de rang h (fig. 10 a), unde:

$$h = \sqrt{\frac{X_c}{X_T}} \qquad (7)$$

Tensiunea armonică U_h are valoare ridicată şi face necesară filtrarea armonicii. Utilizarea filtrului va distorsiona însă caracteristica de frecvenţă, rezonanţa apărând pe o armonică de rang $h' < h$, aşa cum apare în mod evident în figura 10 *b*. Stabilirea relaţiilor de calcul al rezonanţei este prezentată în anexă.



a.



b.

Fig.10. *a* - pentru sistemul compensat; b - pentru sistemul compensat şi filtrat pe armonica 7.

Lipsa esenţială a dispozitivelor clasice de filtrare este aceea că ele nu se pot adapta evoluţiei reţelei. O prelevare optimă de energie de la reţea se poate face prin alte dispozitive, cum ar fi filtrele active de putere şi punţi de corecţie a factorului de putere utilizând circuite electronice de putere.

Concluzii

Creşterea consumului general de energie electrică este condiţionată astăzi de evoluţia tehnologiilor electrice puse la dispoziţia industriei, dar şi de recunoaşterea nu numai a calităţii lor, ci şi a impactului pe care aceste tehnologii îl au asupra reţelelor de alimentare cu energie electrică .

BIBLIOGRAFIE

[1] * * * *Utilisation de l'électricite dans l'industrie. Chap.7. Protection des processus contre les perturbations*, ed. Doppee 1988

[2] Yang, X., Nuns, J. *Etudes des perturbations harmonique générées par les installations de chauffage par induction.* EdF, Collection de notes internes de la DER 95NR00037

[3] * * * - *International Standard IEC 1000 - 2 - 4, 1994. Electromagnetic Compatibility (EMC) - **Part 2**:Environment - Section 4: Compatibility levels in industrial plants for low-frequency conducted disturbances.*

[4] * * * *Norme Internationale IEC 1000 - 3 - 2, 1994. Compatibilité Electromagnetique (CME) - **Partie 3**: Limites - Section 2: Limites pour les emission de courant harmonique (courants appelle par les apparailles ≤16 A par phase).*

[5] * * * PE 143/94 - *Normativ privind limitarea regimului nesimetric şi deformant în reţele electrice*, ICEMENERG, 1994, Bucureşti .

ANEXA

Impedanţa Z_k echivalentă conectată la bară, conform figurii 10 este [6]:

$$\underline{Z}_k = \frac{(R + j \cdot X_{Tk})(-j \cdot X_{ck})}{R + j \cdot (X_{Tk} - X_{ck})}$$

$$\underline{Z}_k = -\frac{X_c}{k} \cdot \frac{R \cdot \frac{X_c}{k} + j \cdot (R^2 + k^2 X_T^2 - X_T X_c)}{R^2 + \left(k \cdot X_T - \frac{X_c}{k}\right)^2} \qquad (A.1)$$

unde k este ordinul armonicii.

Când R=0:

$$Z = -j \frac{X_c}{k} \cdot \frac{k^2 X_T^2 - X_T X_c}{\left(k \cdot X_T - \frac{X_c}{k}\right)^2} = -j \frac{X_c X_T}{k \cdot X_T - \frac{X_c}{k}} \qquad (A2)$$

Coeficientul de supratensiune armonică pentru armonica 7 va fi:

$$\sigma = \frac{U_h}{U} = \frac{X_{ch}}{\sqrt{R^2 + (X_{Th} - X_{ch})}} , \qquad (A.3)$$

unde U_h este tensiune pe armonică de rezonanţă.

Se consideră următoarele valori ale parametrilor din schema:

$X_T = 0{,}00647\ \Omega$

$X_c = 0{,}32\ \Omega$

$R_T = 0{,}001\ \Omega$

Rangul armonicii de rezonanţă în circuitul LC format este:

$$h = \sqrt{\frac{X_c}{X_{sc}}} = \sqrt{\frac{0,32}{0,00647}} = 7,071 \qquad (A.4)$$

considerându-se $X_T \approx X_{sc}$.

Coeficientul de supratensiune armonică pentru armonica 7 este:

$$\sigma_7 = \frac{U_7}{U_1} = \frac{X_{ch}}{\sqrt{R^2 + (X_{Th} - X_{ch})^2}} = 30.3\%$$

unde: (A.5)

$$X_{Th} = h \cdot X_T$$

$$X_{ch} = \frac{X_c}{h} \quad \text{unde: } h = 7.$$

Această situaţie ar face necesară filtrarea armonicii 7. Este necesar însă a se considera efectul pe care îl va avea filtrarea pentru întreaga caracteristică de frecvenţă, căci utilizarea filtrului distorsionează caracteristica de frecvenţă, apărând rezonanţa pe o alta armonică inferioară a cărei amplitudine este mai mică decât pe armonica 7.

În acest caz frecvenţa de rezonanţă va fi:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L + L_7) \cdot C}} = 248\,Hz, \quad \text{adică h = 5,} \qquad (A.6)$$

unde:

$$L = \frac{X_T}{\omega_0} = \frac{0,0064}{314} = 2,0382 \cdot 10^{-5} H \qquad (A.7)$$

$$C = \frac{1}{\omega_0 X_c} = \frac{1}{314 \cdot 0,32} = 9,952 \cdot 10^{-3} F \qquad (A.8)$$

Reactanţa condensatorului C pe armonica 7:

$$X_{C7} = \frac{1}{h \cdot \omega_0 \cdot C} = 0,0457\ \Omega \qquad (A.9)$$

Reactanţa bobinei L_7 pe armonica 7 va fi:

$$X_{L7} = X_{C7}. \qquad (A.10)$$

de unde:

$$L_7 = \frac{X_{L7}}{h \cdot \omega_0} = 2,079 \cdot 10^{-5} H \qquad (A.10.a)$$

Observaţie: O altă modalitate de a găsi noua frecvenţă de rezonanţă :

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{\left(\frac{X_T}{\omega_0} + \frac{X_c}{h^2\omega_0}\right)\frac{1}{\omega_0 X_c}}} = \frac{\omega_0}{2\pi\sqrt{\frac{X_T}{X_c} + \frac{1}{h^2}}} = \frac{f_0}{\sqrt{\frac{1}{h^2} + \frac{1}{h^2}}}$$

$$f = \frac{f_0 \cdot h}{\sqrt{2}} = f_0 \times 4,9 \qquad (A.11)$$

unde *h* reprezintă ordinul armonicii pe care s-a calculat filtrul.

În aceste condiţii răspunsul de frecvenţă al sistemului va fi dat de relaţia:

$$\underline{Z} = \frac{\omega L_7 - \frac{1}{\omega C}}{R^2 + \left[\omega(L + L_7) - \frac{1}{\omega C}\right]^2} \qquad (A.12)$$

$$\left\{R\left(\omega L_7 - \frac{1}{\omega C}\right) + j\left[R^2 + \omega^2 L(L + L_7) - \frac{L}{C}\right]\right\}.$$

unde $\omega = k\,\omega_0$, k = 1,2 . . .

S-a folosit notaţia :

h = ordinul armonicii de rezonanţă

k = un ordin oarecare al armonicii.

La elaborarea lucrării au fost consultate şi următoarele contracte de cercetare:

1. Contract 7 - 94 - 13, UPB - GTDEE - Creşterea eficienţei de utilizare a energiei electrice în vederea creşterii cererii de energie la consmator. Influenţa asupra reţelei şi mediului, autori: prof. dr. ing. Marilena Ungureanu, conf. dr. ing. Cornel Toader, ş.l. ing. Ştefania Ioan ş.a.

2. Contract 7 - 95 - 13, UPB - GTDEE - Analiza calităţii energiei electrice în legătură cu creşterea consumului de energie electrică, autor: as. ing. Radu Popa.

Referent: dr. ing. Miron Laurenţiu Goia - GSCI

(Primit la 18 decembrie 1996, acceptat la 4 martie 1996)

Informaţii

Numărul 2, seria A, pe anul 1996, al revistei ENERGETICA conţine următoarele materiale:

EUGENIU PAVEL: Editorial

CONSTANTIN NEAGA: Influenţa masei minerale interne asupra dinamicii arderii particulei de cocs

LIVIU DRAGOŞ, CĂTĂLIN FLUERARU, SILVIA PRESSEL, CARMEN NEAGU, ANTON ROŞU: Aplicarea tehnologiei de ardere în strat fluidizat circulant (ASFC) pentru reabilitarea centralei Comăneşti

LIANA TURCU, ANDREI ZABUNOV: Probleme legate de stabilirea rezervei de durată de viaţă pentru conductele de abur ale unui grup energetic

OVIDIU ŢUŢUIANU, EMIL DAN FULGER, ANCA VIERU, MIHAI FEHER: Premise şi soluţii privind o abordare globală a emisiilor de poluanţi gazoşi şi pe ansamblul termocentralelor RENEL

DANIELA SCRIPCARIU, MIRCEA SCRIPCARIU, GHEORGHE COMĂNESCU, PAVEL BUHUŞ: Un punct de vedere privind criterii economice pentru alegerea proiectelor de investiţii şi pentru modernizarea instalaţiilor energetice

IACOB VOIA: Micii producători de hidroelectricitate în România. Necesitate şi şansă

INFORMAŢII

DAN GHEORGHIU, RADU STOENESCU, ŞTEFAN GEORGESCU, VASILE POPOVICI: Preocupări privind utilizarea şi valorificarea cenuşii şi zgurii de termo-centrale

DE INSTITUTIONIS

ANTON ROŞU: V.G.B. Vereinigung der Grosskraft-werksbetreiber (Asociaţia Operatorilor de Centrale Mari)

DIN ENERGETICA MONDIALĂ

DE PERSONIS

x x x George-Ştefan Panaitescu a împlinit 85 de ani

SUBANSAMBLURI PCB* CU COMPATIBILITATE ELECTROMAGNETICĂ RIDICATĂ A LINIEI DE ALIMENTARE

ş.l.dr.ing.VIRGIL GOLUMBEANU, prof.dr.ing PAUL SVASTA
ing. NOROCEL - DRAGOŞ CODREANU **

Se prezintă principalele metode pentru reducerea perturbaţiilor prin linia de alimentare, utilizând pentru interconectarea circuitelor digitale structuri de interconectare (cablaje imprimate) fără plane de alimentare. Reducerea perturbaţiilor are în vedere cele trei componente ale curentului consumat de un circuit digital de la sursa de alimentare: curentul dinamic de comutare i_c, curentul static de comutare i_s datorat diferenţei existente între I_{CCL} şi I_{CCH} şi curentul continuu I_{CCO}.

Pentru caracterizarea decuplării se introduce noţiunea de eficienţă de decuplare. Se determină eficienţa de decuplare în funcţie de tipul tehnologic al circuitului, complexitatea funcţională, tipul terminalelor, dimensiunea capsulei, tipul liniei de alimentare, tipul condensatorului de decuplare, nivelul de compatibilitate electromagnetică al cablajului imprimat.

The authors present the main methods to decrease the disturbances in the supplying line by using interconnection structures (printed circuite boards) free of supplying plants to interconnect the digital circuits. Decreasing disturbances procedure is based on the three constituents of a current consumed by a digital circuit: dynamic switching current i_c, steady switching current i_s resulted from the difference existing between I_{CCL} and I_{CCH} and a direct current I_{CCO}.

Descriptori: linii electrice, compatibilitate electromagnetică

Introducere

Compatibilitatea electromagnetică (CEM) reprezintă o caracteristică de sistem, însă pentru a o obţine, abordarea ei trebuie avută în vedere în fiecare fază de proiectare electric-constructivă, începând cu nivelul componentelor şi terminând cu interconectarea sistemelor. Pentru orice cablaj imprimat (PCB) abordarea CEM vizează în esenţă trei aspecte:

- amplasarea componentelor astfel încât interinfluenţarea lor prin câmp electric, magnetic, electromagnetic şi prin impedanţă comună să fie cât mai redusă;
- realizarea liniei de alimentare are în vedere reducerea la minimum a perturbaţiilor prin impedanţă comună, precum şi a emisiei şi recepţiei electromagnetice;
- liniile de semnal trebuie astfel realizate încât să se reducă diafonia, reflexiile, timpii de propagare, emisia şi recepţia electromagnetică.

CEM a unui cablaj (circuit) imprimat influenţează puternic CEM a sistemului, acesta reprezentând subansamblul de bază. Pentru orice sistem electric sursa de alimentare cu energie electrică reprezintă una din cauzele esenţiale ale interferenţei electromagnetice (IEM), astfel încât pentru buna funcţionare a sistemelor se impune aplicarea unor metode specifice de reducere a acesteia.

Perturbaţiile prin linia de interconectare a alimentării diverselor componente electrice sunt dependente de curentul consumat de componente de la sursa de alimentare şi de impedanţa liniei [1, 2, 3, 4].

1. Metode pentru reducerea perturbaţiilor prin linia de alimentare, utilizând cablaje dublu strat pentru interconectarea circuitelor digitale

Se prezintă, pe scurt, principalele metode (reguli) ce pot fi utilizate la proiectarea cablajelor pentru circuitele digitale (CD), astfel încât să se obţină o reducere la minimum a perturbaţiilor prin alimentare:

- Amplasarea circuitelor digitale se va realiza utilizând schema de interconectare cascadă-paralel din figura 1, în corelaţie cu relaţiile 1, 2 şi 3. Această amplasare are în vedere reducerea IEM prin impedanţă comună. Se consideră: I_i - curentul consumat de CD de la sursa de alimentare şi f_i - frecvenţa maximă de comutare a CD.

* Printed circuit board - PCB (placă de cablaj imprimat)

** Universitatea "Politehnica" Bucureşti, Facultatea de Electronică

Conexiunile din figura 1 trebuie realizate astfel încât să fie îndeplinite relaţiile:

$$I_1 \cong I_2 \cong \ldots \cong I_i$$

$$I_{i+1} \cong I_{i+2} \cong \ldots \cong I_k \quad (1)$$

$$I_{k+1} \cong I_{k+2} \cong \ldots \cong I_n$$

$$I_1 < = I_2 < = \ldots < = I_i \quad (2)$$

$$I_{i+1} < = I_{i+2} < = \ldots < = I_k$$

$$I_{k+1} < = I_{k+2} < = \ldots < = I_n$$

$$f_1 < = f_2 < = \ldots < = f_i \quad (3)$$

$$f_{i+1} < = f_{i+2} < = \ldots < = f_k$$

$$f_{k+1} < = f_{k+2} < = \ldots < = f_n$$

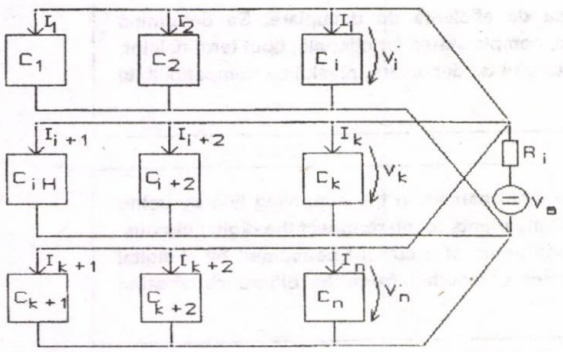


Fig. 1. Conexiune cascadă-paralel a alimentării.

• Inductanţa parazită a liniei de alimentare să fie cât mai redusă. Sunt indicate trasee de alimentare cât mai late şi mai apropiate.

• Cât mai aproape de pinii de alimentare ai conectorului, înaintea oricărei ramificaţii a liniei de alimentare pe cablaj, se conectează două condensatoare de decuplare, unul de capacitate mică, dependentă de tipul tehnologic al CD utilizat şi altul de capacitate mare, dependentă de valoarea maximă a curentului de alimentare al subansamblului.

• Pentru conectarea alimentării la conector se folosesc pini alăturaţi.

• Utilizarea conectoarelor cu varistoare încorporate.

• Utilizarea pentru decuplare a condensatoarelor cu inductanţă parazită cât mai mică.

• Condensatorul de decuplare se va amplasa cât mai aproape de capsula CD decuplat, astfel încât lungimea liniei de alimentare de la pinii de alimentare ai CD la terminalele condensatorului să fie minimă.

• Spaţiile neacoperite de traseele de semnal vor fi acoperite , pe cât posibil, cu trasee conectate la masă, inclusiv regiunea din jurul plăcii subansamblului.

• În funcţie de tipul tehnologic al CD utilizat, complexitatea funcţională, tipul terminalelor şi amplasarea terminalelor de alimentare şi al condensatorului de decuplare, se analizează decuplarea.

2. Analiza decuplării alimentării circuitelor digitale

Pentru reducerea IEM pe linia de alimentare se utilizează în mod curent decuplarea, conform figurii 2. Schema echivalentă a circuitului de decuplare este prezentată în figura 3, unde L_e reprezintă inductanţa parazită totală a circuitului, datorată condensatorului (L_c), liniei de alimentare (L_l) şi CD (L_d).

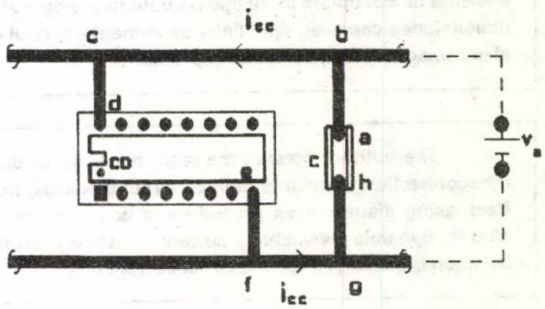


Fig. 2. Decuplarea alimentării.

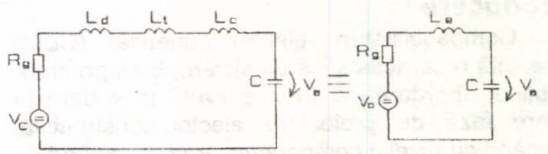


Fig. 3. Schema echivalentă a circuitului abcdefgh.

Analiza decuplării trebuie să aibă în vedere forma curentului ce străbate linia de alimentare care în realitate este foarte complicată şi greu de determinat cu precizie. O bună aproximaţie se poate obţine considerând că i_{cc}, curentul consumat de un CD de la sursa de alimentare, are trei componente:

- un curent dinamic de comutare i_c , consumat de CD de la sursă în momentul tranziţiei LH sau HL, cu o formă aproximativ triunghiulară de amplitudine maximă I_c , durata şi fronturile egale cu t_c.

- un curent static de comutare i_s , datorat diferenţei între I_{CCL} şi I_{CCH} , curent dreptunghiular cu frecvenţa f_{CK}, amplitudine $I_S = (I_{CCL} - I_{CCH})$, fronturi egale cu t_c ;

- un curent continuu I_{CCO} de amplitudine $\min(I_{CCL}, I_{CCH})$.

Pentru o reducere la minimum a IEM pe linia de alimentare a CD trebuie avută în vedere influenţa celor trei componente ale curentului i_{cc}.

Pentru decuplarea curentului dinamic i_c, considerând că va comuta o singură ieşire a CD, trebuie îndeplinite condiţiile:

- căderea de tensiune ΔV_0 de la pinii condensatorului de decuplare la pinii de alimentare ai CD trebuie să fie mai mică decât tensiunea imunităţii la perturbaţii V_{ip} (relaţia 4), iar viteza curentului de comutare i_c, trebuie să fie mai mică decât viteza maximă a curentului de descărcare al condensatorului (relaţia 5).

$$\Delta V_0 = L_e \frac{I_c}{t_c} \le V_{ip} \tag{4}$$

$$\frac{di_c}{dt} \le \frac{V_{ip}}{L_e}, \frac{I_c}{L_e} \le \frac{V_{ip}}{L_e} \tag{5}$$

- frecvenţa de rezonanţă f_o a condensatorului de decuplare trebuie să fie mai mare decât frecvenţa maximă de comutare f_M a CD,

$$f_M \le f_0; \frac{1}{\pi t_c} \le \frac{1}{2\pi\sqrt{L_c C_0}}; \tag{6}$$

- capacitatea C_o a condensatorului de decuplare, se determină cu relaţia:

$$C_0 \ge \frac{I_c t_c}{V_{ip}}. \tag{7}$$

Pentru comutarea a n ieşiri ale CD, se poate aproxima că amplitudinea curentului devine nI_c, iar durata şi fronturile ramân tot t_c, deci în acest caz:

$$\Delta V_n = n\Delta V_0, \qquad C_n = nC_0, \tag{8}$$

unde:

ΔV_0 este căderea de tensiune pe circuitul de decuplare pentru comutarea a n ieşiri, C_n fiind capacitatea condensatorului de decuplare în acest caz.

Se va nota cu d eficienţa de decuplare, mărime definită prin raportul:

$$d = \frac{V_{ip}}{\Delta V_0} \tag{9}$$

Din relaţia (6) rezultă că există o valoare maximă a capacităţii de decuplare, C_M,

$$C_M = \frac{1}{4\pi^2 L_c f_M^2} \tag{10}$$

Se va nota C_{Mt}, capacitatea maximă de decuplare pentru condesatoare cu terminale pentru plantare şi cu C_{Mm} capacitatea maximă a condensatoarelor SMD.

Pentru reducerea influenţei curentului static de comutare i_s, se poate utiliza tot decuplarea, analiza acesteia fiind asemănătoare cu cea pentru i_c, rezultând de această dată relaţiile:

$$\Delta V'_0 = \frac{L_e I_s}{t_c}, \quad C'_0 \ge \frac{I_s}{2V_{ip} f_{ck}} \tag{11}$$

$$C'_n = nC_0'; \; d' = \frac{V_{ip}}{\Delta V_0'}.$$

Numărul de CD, m_s, pentru care se poate utiliza un condensator de decuplare a curentului i_s se determină cu relaţia:

$$m_s(m_s+1) = \frac{V_{ip}}{RI_{cco} + \frac{LI_s}{t_c}}. \tag{12}$$

unde R, L, reprezintă rezistenţa, respectiv inductanţa liniei de alimentare inclusă în circuitul de decuplare.

Numărul maxim de CD ce pot fi conectate în cascadă, notat m_o, este limitat de căderea de tensiune în c.c.,

$$m_0(m_0+1) = \frac{V_{ip}}{RI_{cco}}. \tag{13}$$

3. Determinarea eficienţei de decuplare

Conform celor expuse la pct. 2, rezultă că eficienţa de decuplare este complexă, depinzând de o multitudine de factori: tipul tehnologic al CD (I_c, t_c, I_{CCL}, I_{CCH}), complexitatea funcţională (număr de ieşiri, I_{CCL}, I_{CCH}), tipul terminalelor (pentru plantare sau SMD), amplasarea pinilor de alimentare, tipul liniei de alimentare, tipul condensatorului de decuplare, nivelul de CEM (V_{ip}).

Având în vedere cele spuse se vor analiza cazurile din tabelul 1.

Tabelul 1

Cazuri analizate

Nr. cazului	Tipul liniei de alimentare	Tip CD		Tip condensator	L_e în nH
		dimensiune	terminale		
I	L_1	d_1	tp	Cu sau Cd	50
II	L_1	d_2	tp	Cu sau Cd	70
III	L_1	d_3	tp	Cu sau Cd	90
IV	L_2	d_1	tp	Cu sau Cd	16
V	L_2	d_2	tp	Cu sau Cd	19
VI	L_2	d_3	tp	Cu sau Cd	22
VII	L_1 sau L_2	d_1	tp	Cs	10
VIII	L_1	d_1	tm	Cm	26
IX	L_1	d_2	tm	Cm	41
X	L_2	d_1	tm	Cm	10
XI	L_2	d_2	tm	Cm	10

L_1 - linie de alimentare inductivă, conform figurii 2, ce prezintă o inductanţă de circa 10 nH/cm;

L_2 - linie de alimentare antiinductivă, cu trasee cât mai apropiate, ce prezintă o inductanţă de circa 1,5 nH/cm;

d_1 - CD cu (14 - 16) pini;

d_2 - CD cu (24 - 28) pini;

d_3 - CD cu 40 pini;

t_p - CD cu terminale pentru plantare;

t_m - CD cu terminale pentru montare pe suprafaţă;
Cu - condensator uzual cu terminale cât mai scurte pentru plantare;
Cd - condensator de tip DIP-2;
Cs - condensator special pentru decuplare;
Cm - condensator SMD;

Pentru subansamblurile PCB, se pot utiliza patru niveluri de CEM, notate A, B, C, D [9]:

A - pentru imunitate tipică la perturbaţii şi acţiunea individuală a surselor de perturbaţii;
B - imunitate garantată la perturbaţii şi acţiune individuală a perturbaţiilor;
C - imunitate tipică la perturbaţii şi acţiunea simultană a perturbaţiilor;
D - imunitate garantată la perturbaţii şi acţiune simultană a perturbaţiilor;

Utilizând parametrii curentului de comutare i_c conform [1, 5], tensiunea imunităţii la perturbaţii [7] se determină eficienţa de decuplare şi capacităţile de decuplare pentru diverse cazuri şi tipuri de CD.

Datele prezentate în tabelele 2-6, au fost determinate pentru parametrii curentului de alimentare i_{cc} , specific pentru o poartă logică din subfamilia respectivă. Întrucât curentul de comutare i_c este dependent de numărul n de ieşiri al CD, rezultă că eficienţa de decuplare va scădea de n ori, iar capacitatea de decuplare va creşte de n ori ($C_n = nC_o$). Amplitudinea curenţilor i_s şi I_{CCO} este dependentă de gradul de integrare al CD, putându-se aproxima că: pentru SSI, I_S creşte de patru ori şi I_{CCO} de şase ori; pentru MSI, I_S creşte de şase ori şi I_{CCO} de 15 ori; pentru LSI, I_S creşte de opt ori şi I_{CCO} de 30 ori.

Considerând CD amplasate la distanţa de 3 cm, traseele de alimentare cu lăţimea de 1 cm şi grosimea de 35 microni, linia de alimentare este de tip L_2, se determină m_o şi m_s , date ce sunt prezentate în tabelul 7, pentru nivelul de CEM D.

Tabelul 2

Eficienţa de decuplare *d* pentru nivelul de CEM A

Tip CD	Caz								
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
CMOS 5V	4500	3214	2500	14062	11842	10227	22500	8653	5487
CMOS 15V	650	464	361	2031	2710	1477	3250	1250	792
HCMOS	45	32	25	140	118	102	225	86	55
TTLst	13,1	9,4	7,3	41	34	30	66	25	16
LTTL	84	60	47	262	223	191	420	161	105
HTTL	5	3,6	2,8	15,7	13,2	11,5	25	16	6,2
LSTTL	20	14,3	11	62,5	52	45	100	38	23
STTL	1,9	1,4	1	6	5	4,3	9,5	3,6	2,3
ALSTTL	10	12,1	5,5	31	26	22	50	19	11,5
ASTTL	1,7	1,2	0,94	5,3	4,5	3,9	8,5	3,2	2
ECL 10K	14	10	7,7	44	37	32	70	27	17
ECL 100K	7	5	3,9	22	18,5	16	35	13,5	8,5

Tabelul 3

Eficienţa de decuplare *d* pentru nivelul de CEM D

Tip CD	Caz								
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
CMOS 5V	1500	1071	833	4687	3947	3409	7500	2884	1829
CMOS 15V	133	95	74	415	350	302	665	255	162
HCMOS	10	7	5,5	31	26	23	50	19	12,2
TTLst	1,2	0,9	0,7	3,9	3,3	2,8	6,2	2,4	1,5
LTTL	8	5,7	4,4	25	21	18	40	15	10
HTTL	0,5	0,3	0,26	1,5	1,3	1	2,4	1,5	0,6
LSTTL	1,5	1	0,8	4,7	3,9	3,4	7,5	3	1,8
STTL	0,1	0,08	0,06	0,37	0,3	0,27	0,6	0,23	0,14
ALSTTL	0,75	0,53	0,4	2,3	1,9	1,7	3,8	1,5	0,9
ASTTL	0,1	0,07	0,06	0,32	0,27	0,23	0,5	0,2	0,12
ECL 10K	0,8	0,6	0,4	2,5	2,1	1,8	4	1,5	1
ECL 100K	0,4	0,3	0,2	1,2	1	0,9	2	0,7	0,5

Tabelul 4

Eficienţa de decuplare *d'* pentru nivelul de CEM A

Tip CD	Caz								
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
TTLst	105	75	58	328	291	238	525	202	128
LTTL	2100	1500	1166	6562	5526	4772	10500	4038	2625
HTTL	32	23	18	99	84	72	159	62	39
LSTTL	645	460	357	2000	1666	1428	3333	1250	769
STTL	23	16	12,6	71	60	52	114	43	28
ALSTTL	322	230	178	1000	833	714	1666	625	384
ASTTL	11	8	6	35	30	26	57	21	14

Tabelul 5

Eficienţa de decuplare d' pentru nivelul de CEM D

Tip CD	Caz								
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
TTLst	10	7	5,5	31	27	22	50	19	12
LTTL	200	142	111	625	526	454	1000	384	250
HTTL	3	2,1	1,7	9	8	7	15	6	3,7
LSTTL	48	34	26	150	125	107	250	93	57
STTL	1,4	1	0,8	4,5	3,7	3,2	7,2	2,7	1,8
ALSTTL	24	17	13	75	62	53	125	47	29
ASTTL	0,7	0,5	0,4	2,2	1,9	1,6	3,6	1,3	0,9

Tabelul 6

Capacităţi de decuplare, C_o, C_o', C_{Mt}, C_{Mm}

	CEM	Tip CD											
		CMOS		HCMOS	TTLst	LTTL	HTTL	LSTTL	STTL	ALSTTL	ASTTL	ECL	
		5 V	15V									10 K	100 K
C_o (pF)	A	44	77	44	152	66	143	64	95	32	34	5,7	2,8
	D	133	376	200	1600	1000	1500	853	1500	426	566	100	50
C_o'(nF)	A				1	0,09	1,9	0,13	1,3	0,13	1,3	0,22	0,22
	D				10	0,95	20	1,66	21	1,6	21	4	4
C_{Mt} (nF)		555	138	5	5	20	1,8	3,2	0,35	0,8	0,144	0,195	0,05
C_{Mm} (nF)		2775	690	25	25	100	9	16	1,75	2	0,36	1	0,25

Tabelul 7

Numerele maxime de CD, m_s şi m_o

Tip CD	m_s			m_o		
	SSI	MSI	LSI	SSI	MSI	LSI
TTLst	5	4	3,7	30	18	13
LTTL	23	19	16	94	56	41
HTTL	2,9	2,3	2	20	12	8
LSTTL	11	9	8	60	37	26
STTL	2	1,6	1,4	17	11	8
ALSTTL	6	5	4	60	37	26
ASTTL	1,7	1,3	1,1	17	11	8

Concluzii

Se poate aprecia că prin aplicarea metodelor prezentate se poate obţine o linie de alimentare cu CEM ridicată cu costuri minime de materiale. Majoritatea metodelor nu implică materiale suplimentare, ci numai un nivel de cunoştinţe în domeniul CEM al proiectantului de sisteme digitale.

Decuplarea deşi este utilizată în mod curent, nu i se acordă atenţia cuvenită. Conform celor prezentate la pct. 3, pentru orice tip de circuite integrate se poate face o analiză a decuplării şi determinarea modului optim de realizare.

Având în vedere datele prezentate la pct.3 se pot trage următoarele concluzii, referitoare la decuplarea diverselor subfamilii de circuite digitale analizate:

- Circuitele de tip CMOS sunt cele mai puţin sensibile la perturbaţii prin linia de alimentare, eficienţa de decuplare fiind relativ mare pentru toate cazurile analizate şi nivelurile CEM. Se pot utiliza linii de alimentare de tip L_1 sau L_2, capacităţi de decuplare de (50-100)nF pentru (3-6) CD. Curenţii I_{CCL} şi I_{CCH} fiind foarte mici şi aproximativ egali nu este necesară decuplarea curentului i_S decât eventual pentru circuitele foarte complexe (VLSI, MCM). La tensiuni mari de alimentare este indicată totuşi utilizarea liniei de alimentare L_2, pentru reducerea emisiei electromagnetice.
- Pentru circuitele HCMOS d este mare. Se recomandă linia L_2. Nu este necesară decuplarea curentului i_s , decât la circuitele foarte complexe. Circuitele de tip LTTL au o comportare asemănătoare cu HCMOS.
- Toate celelalte subfamilii TTL sunt mult mai sensibile la perturbaţiile prin linia de alimentare, aceasta crescând odată cu frecvenţa maximă de comutare a CD şi gradul de integrare. Soluţia cea mai indicată pentru acestea este utilizarea liniilor de alimentare L_2 şi a condensatoarelor C_s sau a tehnologiei SMD.

În esenţă, datele prezentate pot fi utilizate de proiectant, astfel: cunoscând tipul CD, numărul n de ieşiri ce pot comuta simultan, având în vedere cazul în care se încadrează, verifică dacă $n \geq d$. În această situaţie decuplarea este eficientă, poate fi utilizată, folosind o capacitate de decuplare C_n la fiecare CD, o capacitate de decuplare de valoare C'_n la m_s CD şi limitând CD conectate în cascadă la m_o. Dacă C_n este mai mare decât C_M sau C_{mm} , o soluţie mai eficientă este utilizarea în paralel a două condensatoare, unul de capacitate C_M sau C_{Mm} şi celălalt C_n. Dacă $n < d$, decuplarea nu este eficientă, perturbaţiile prin linia de alimentare sunt reduse doar parţial, iar soluţia indicată din punct de vedere CEM este utilizarea cablajelor multistrat.

BIBLIOGRAFIE

[1] Mardiguian, M. *Interference Control in computers and microprocessor based equipqment*, Don White Consultans Inc, 1986.

[2] Do White, *EMI control in the design of printed circuit board and backplanes*, Don White Consultans Inc, 1985.

[3] Deny, W. H. *Grounding for the control of EMI*, Don White Consultans Inc, 1985.

[4] Golumbeanu, V., Svasta, P. *Influenţa interconectării alimentării asupra funcţionării circuitelor logice*, Lucr. simp. U Piteşti, 1992.

[5] Gravelle, L., Wilson, P. *EMI/EMC in printed circuit boards*, IEEE trans on EMC, vol. 34, nr. 2, 1992.

[6] Dowing, R., Gekler, P., Katopis, G. *Decoupling capacitor effects on switching noise*, In: IEEE Trans on CHMT, vol. 16, nr. 5, 1993.

[7] Golumbeanu, V., Nemeş, M., Codreanu, N.D. *Imunitatea la perturbaţii a principalelor circuite digitale, Lucr.* simp. ICDA 1993.

[8] Clayton, P. *Effectiveness of multiple decoupling capacitors*, In: IEEE Trans on EMC, vol. 34, nr. 2, 1992.

[9] Golumbeanu, V. *Aspecte ale compatibilităţii electromagnetice în proiectarea structurilor de interconectare, Seminar* "Utilizarea calculatoarelor în tehnologia subansamblelor electronice", ed. SC Brenprod srl, Bucureşti, 1995.

Referent: ing. Dan Cristian Rucinschi - Facultatea de Energetică, Universitatea "Politehnica" Bucureşti

(Primit la 21 decembrie 1995, acceptat la 25 martie 1996)

ASPECTE PRIVIND CALITATEA ENERGIEI ELECTRICE ŞI MONITORIZAREA ACESTEIA

ing. ION CONECINI *; prof.dr.ing. NICOLAE GOLOVANOV **; dr.ing. ION LUNGU *;
dr.ing. ŞTEFAN GHEORGHE ***

Lucrarea propune un mod concret de abordare a problemei calităţii energiei electrice livrată consumatorilor. Datele insuficiente privind nivelul perturbaţiilor din reţeaua electrică ca şi al valorilor reale ale indicatorilor de calitate a energiei electrice, impun stabilirea unei metodologii clare de urmărire a acestor indicatori, a nivelului perturbaţiilor introduse de consumatori şi, pe această bază, validarea limitelor (niveluri de compatibilitate) impuse prin normativele în vigoare sau a celor care vor fi impuse în normativele care urmează a fi elaborate. Lucrarea îşi propune să supună atenţiei specialiştilor principalele condiţii de realizare a unui proces eficient de monitorizare a mărimilor pe baza cărora se determină indicatorii de calitate a energiei electrice.

An actual way to tackle the quality issue related to the supplied electricity is presented in the paper. The data scarcity on both the disturbances rate in the electric network and the electricity quality real values, calls for a clear monitoring methodology not only on the aforementioned indicators but also on the level of the end-user induced disturbances and, on this basis, there may be confirmed the limits (the compatibility levels) required by the regulations in force or by those to be issued.

The paper intends to present the main method to accomplish an efficient electricity quality indicators monitoring procedure.

Descriptori: calitate, monitorizare, compatibilitate electromagnetică

Introducere

Energia electrică este considerată în prezent ca un produs care este livrat de către furnizor consumatorilor, cu garantarea unor parametri (indicatori) de calitate ai produsului livrat.

Asigurarea calităţii energiei electrice livrate consumatorilor a devenit o problemă de complexitate deosebită, în condiţiile creşterii numărului şi puterii absorbite de consumatorii perturbatori (echipamente cu comenzi şi reglare utilizând electronică de putere, lămpi cu descărcare în vapori metalici, cuptoare cu arc electric, tracţiune electrică etc.).

Calitatea energiei electrice livrate consumatorilor prezintă două aspecte diferite:

- *calitatea măsurată* cu ajutorul mijloacelor de măsurare, fiind puse în evidenţă valorile unor indicatori de calitate a energiei electrice, stabiliţi în primul rând pe criterii tehnice;
- *calitatea percepută* de consumator (client) care poate fi definită prin mărimi subiective.

Lucrarea de faţă se referă numai la aspecte privind calitatea măsurată.

Urmărirea indicatorilor de calitate a energiei electrice şi adoptarea de măsuri pentru menţinerea acestora în limitele admise, ca obligaţie a furnizorului de energie electrică, nu poate fi făcută decât în corelaţie cu urmărirea perturbaţiilor introduse în reţeaua electrică de alimentare de către consumatorii perturbatori.

În acest sens, indicatorii de calitate pot fi împărţiţi în două grupe: *indicatori primari*, care depind în primul rând de furnizorul de energie, şi *indicatori secundari*, care sunt influenţaţi în primul rând de funcţionarea consumatorilor perturbatori [1].

În grupa indicatorilor primari de calitate intră:

- *frecvenţa* (controlată în sistemul energetic prin reglajul P - f),
- *amplitudinea tensiunii pe barele de alimentare* (controlată prin reglajul Q - U şi a ploturilor transformatoarelor şi autotransformatoarelor din reţea),
- *supratensiunile temporare şi tranzitorii* (limitate şi controlate prin sistemele de protecţie contra supratensiunilor);

* RENEL - GTDEE
** Universitatea "Politehnica" Bucureşti - Facultatea de Energetică
*** FRE Ploieşti

• *goluri de tensiune* (limitate prin sistemele de protecţie prin relee).

Tot în categoria indicatorilor primari pot fi cuprinse şi *întreruperile de scurtă şi lungă durată*, care definesc, în principal, un indicator de calitate a serviciului (alimentarea cu energie electrică), fiind stabilit de furnizor împreună cu consumatorul, în funcţie de exigenţele acestuia.

În grupa indicatorilor secundari pot fi cuprinşi indicatorii care definesc următoarele perturbaţii determinate de funcţionarea consumatorilor:

• *armonici şi interarmonici* (regimuri nesinusoidale),

• *fluctuaţii rapide de tensiune*,

• *fluctuaţii lente de tensiune* (flicker),

• *nesimetrii*.

1. Reglementări în domeniul calităţii energiei electrice

Preocupările deosebite pe plan internaţional privind calitatea energiei electrice livrate consumatorilor s-au concretizat şi în documente şi norme ce definesc indicatorii de calitate, modul de măsurare ca şi limitele admise de variaţie a acestor indicatori.

Astfel, Comunitatea Europeană în directiva Consiliului nr.89/336/CEE din 2 mai 1989, se referă la calitatea energiei electrice, în contextul mai larg al conceptului de *compatibilitate electromagnetică*, precizând obligaţiile ce revin statelor membre în protecţia reţelelor electrice de distribuţie a energiei electrice contra perturbaţiilor electromagnetice.

Principalele reglementări internaţionale ce trebuie luate în considerare în stabilirea parametrilor şi procedurilor de monitorizare a mărimilor sunt:

• CEI 816 - Guide sur les méthodes de mesures des transitoires de courte durée sur les lignes de puissance et de controle basse tension

• CEI 827 - Guide relatif aux limites des fluctuations de tension dues aux appareils électrodomestiques

• CEI 868 - Flickermètre. Spécifications fonctionelles et de conception

• CEI 1000-2-1, Partie2: Environnement. Section 1: Description de l'environnement-Environnement électromagnétique pour les perturbations conduites basse fréquence et la transmission de signaux sur les réseaux publics d'alimentation

• CEI 1000-2-2, Partie 2:Environnement. Section 2: Niveaux de compatibilité pour les perturbations conduites basse fréquence et la transmission de signaux sur les réseaux publics d'alimentation a basse tension

• UNIPEDE - DISNORM 12/89

• EN 50 160

• IEEE 519

2. Monitorizarea calităţii energiei electrice

Determinările privind calitatea energiei electrice se efectuează, în principal, în unul dintre următoarele trei cazuri:

a) analiza, de către furnizor, a calităţii energiei electrice în punctele de delimitare cu sistemul energetic a consumatorilor care introduc perturbaţii,

b) analiza, de către consumator, în punctul de delimitare a calităţii energiei electrice livrate,

c) verificarea condiţiilor contractuale dintre furnizor şi consumator.

Având în vedere caracterul stocastic al perturbaţiilor şi deci posibilitatea definirii numai pe cale statistică a indicatorilor de calitate, apare necesară *monitorizarea calităţii energiei electrice* pe intervale mari de timp (o zi, o săptămână sau mai mult), în funcţie de specificul consumatorului [1, 3, 11].

Tipul, durata şi amplitudinea perturbaţiilor sunt principalele mărimi care sunt urmărite de către echipamentele moderne de monitorizare a calităţii energiei electrice. În acest sens, este necesar să se elaboreze algoritmi adecvaţi de prelucrare a datelor de intrare şi să se stabilească limitele posibile de variaţie a perturbaţiilor. În tabelul 1 sunt indicate, pentru câteva dintre perturbaţiile care pot apărea în reţeaua electrică, domeniile posibile de variaţie.

Principalele probleme care apar la realizarea programului de monitorizare a calităţii energiei electrice sunt:

a) *stabilirea tipului de echipament utilizat*, în acest sens pot fi luate în considerare două grupe distincte de echipamente de monitorizare: pentru consumatori (cu un număr redus de funcţiuni) şi pentru furnizor (cu un număr mai mare de funcţiuni);

b) *stabilirea algoritmilor pentru fiecare indicator monitorizat*;

c) *stabilirea condiţiilor şi a programului de monitorizare*.

De cele mai multe ori perturbaţiile care apar nu sunt individualizate fiind obţinute ca suprapunere aleatorie a mai multor tipuri de perturbaţii. Astfel, în mod uzual apar fenomene de flicker însoţite de regim nesinusoidal, tensiuni fluctuante şi regim nesimetric. În acest sens, sistemul de urmărire trebuie să fie dotat la intrare cu un bloc - sistem expert care să identifice tipul

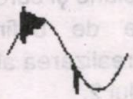
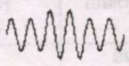
perturbaţiei, să asigure filtrarea corespunzătoare a informaţiilor primare şi să le transmită spre blocul de calcul corespunzător. Lipsa blocului - sistem expert la intrarea echipamentului de monitorizare poate conduce la obţinerea de informaţii deformate în analiza indicatorilor de calitate a energiei electrice.

• înregistarea rezultatelor şi/sau afişarea la terminal.

Pentru obţinerea unor informaţii corecte privind indicatorii de calitate a energiei electrice, echipamentele de măsurare trebuie, în primul rând, să asigure determinarea frecvenţei tensiunii de pe bare cu precizie ridicată şi ajustarea

Tabelul 1

Parametrii ai perturbaţiilor din reţeaua electrică

Tipul perturbaţiei		Durata (spectru de frecvenţă)	Amplitudine tipică
Fenomene tranzitorii	Impuls oscilatoriu 	• < 600 ms (oscilaţii cu frecvenţă joasă < 0,3 kHz) • < 60 ms (oscilaţii cu frecvenţă medie 0,3...2 kHz) • < 10 ms (oscilaţii cu frecvenţă înaltă > 2 kHz)	maximum 4 u.r. maximum 2 u.r. maximum 1,5 u.r.
	Impuls unidirecţional	• < 200 μs (frecvenţe > 5 kHz)	maximum 6 kV (100 kA)
Variaţii de tensiune de scurtă durată		• instantanee, 10...600 ms • momentane, 600 ms...2 s • temporare, 2 s... 2 minute	0,1...1,8 u.r. 0,1...1,4 u.r. 0,1...1,2 u.r.
Variaţii de tensiune de lungă durată	Sub şi supra- tensiuni temporare	> 2 minute	0,8...1,2 u.r.
Goluri de tensiune		< 1 s.	0
Intreruperi	de scurtă durată de lungă durată	1 s. ... 1 minut > 1 minut	0 0
Regimuri nesinusoidale		armonici de rang 2...40	• pe curba de tensiune, maximum 10 % din fundamentală, • pe curba de curent electric, maximum 100 % din fundamentală

În tabelul 1 s-a notat cu u.r. valoarea relativă (raportată la mărimi de fază).

Monitorizarea simultană a mai multor indicatori de calitate impune procesarea paralelă a informaţiilor (până la 10 procesoare).

3. Condiţii generale care trebuie îndeplinite de echipamentele de urmărire

Principalele etape ale procesului de prelucrare a informaţiilor primare sunt:

• achiziţia semnalelor din reţeaua electrică,

• adaptarea nivelului semnalului la valorile de intrare ale echipamentului de calcul,

• conversia analog numerică a semnalelor (inclusiv eşantionare/ memorare semnal),

• procesarea eşantioanelor,

corespunzătoare a intervalelor de eşantionare a curbelor de tensiune şi curent electric.

Achiziţia datelor din procesele electroenergetice se face prin intermediul transformatoarelor de măsurare de tensiune (TT) şi transformatoarelor de măsurare de curent (TC). Utilizarea acestor transformatoare de măsurare ca traductoare de semnal prezintă principalul dezavantaj că determină un transfer deformat al datelor de la nivelul de tensiune înaltă spre bornele de intrare ale echipamentului de măsurare [2, 3, 4]. Din punct de vedere practic pot fi acceptate următoarele ipoteze:

- în domeniul tensiunilor joase (JT), atât transformatoarele de măsurare de tensiune, cât şi cele de curent electric asigură un transfer cu

precizie suficientă (semnalul de ieşire este practic proporţional cu semnalul de intrare) al mărimilor achiziţionate din proces,

- în domeniul tensiunilor medii (MT), transformatoarele de curent electric asigură un transfer cu precizie suficientă a semnalelor care cuprind frecvenţe care nu depăşesc 1,5 kHz; pentru frecvenţe mai mari apar erori inacceptabile în transferul informaţiilor privind unghiul de defazaj,
- în domeniul tensiunilor medii (MT), transformatoarele de măsurare de tensiune (TT) asigură transferul cu o precizie suficientă a semnalelor care conţin frecvenţe sub 1 kHz,
- în domeniul tensiunilor înalte (IT), transformatoarele de măsurare de tensiune au caracteristici de frecvenţă corespunzătoare pentru semnale care cuprind frecvenţe sub 0,5 kHz (atât cele inductive, cât şi cele capacitive).

Blocurile care asigură achiziţia şi adaptarea semnalului trebuie să fie caracterizate de: rezoluţie bună, liniaritate a semnalului de ieşire, timp de răspuns redus.

Eşantionarea semnalului trebuie făcută având în vedere teorema lui Shannon, iar semnalul eşantionat trebuie memorat şi menţinut constant pe durata conversiei pentru a asigura un număr suficient de eşantioane pe o perioadă a curbelor de tensiune sau curent electric. Astfel, pentru analiza armonică este necesar ca numărul minim de eşantioane pe o perioadă să fie de 2^7=128, iar fereastra de eşantionare să fie de minimum 2 T [8].

Alegerea convertorului analog numeric (CAN) trebuie făcută astfel încât să aibă o viteză mare de lucru pentru a permite reducerea erorilor de achiziţie pe cele minimum şase canale (trei de tensiune şi trei de curent electric) şi să asigure conversia mărimilor analogice cu o rezoluţie de cel puţin 12 biţi.

O atenţie deosebită trebuie acordată echipamentelor care folosesc o singură resursă (un CAN), unde eroarea datorită multiplexării nu trebuie să afecteze eroarea totală a aparatului.

Echipamentele cu şase circuite distincte de conversie sunt puţin utilizate datorită preţului ridicat.

Achiziţia mărimilor din proces trebuie făcută *permanent pe cele şase canale,* iar procesarea şi încadrarea în tipul de evenimente se face pe baza deciziei sistemului expert din blocul de intrare.

Semnalele achiziţionate din proces permit şi detectarea golurilor de tensiune, ca şi a întreruperilor. Dacă se urmăreşte numai analiza acestor perturbaţii pot fi utilizate echipamente specializate relativ simple.

Analiza fenomenului de flicker impune aparate specializate, iar analiza interarmonicilor este încă în studiu.

4. Stabilirea algoritmilor pentru determinarea principalilor indicatori de calitate

Determinarea valorilor efective ale tensiunilor pe cele trei faze (U_k, k=1..3), a valorilor efective ale curenţilor I_k pe cele trei faze, a puterilor trifazate active P_T , reactive Q_T şi aparente S_T, ca şi a altor indicatori se face pe baza eşantioanelor curbelor de tensiune şi curent electric.

Relaţiile de definiţie, precum şi cele utilizate pentru realizarea algoritmilor de calcul sunt indicate în tabelul 2.

Tabelul 2

Relaţii de calcul pentru mărimile analizate

Mărimea controlată	Relaţia de definiţie	Relaţia de calcul
Valoarea efectivă a tensiunii pe fază	$U_k = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T u_k^2(t).dt}$	$U_k = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} U_i^2}$
Valoarea efectivă a curentului electric pe fază	$I_k = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T i_k^2(t).dt}$	$I_k = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} I_i^2}$
Puterea activă pe fază	$P_k = \frac{1}{T}\int_0^T u(t).i(t).dt$	$P_k = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} U_i.I_i$
Puterea activă trifazată		$P_T = \sum_{k=1}^{3} P_k$
Puterea aparentă trifazată		$S_T = \sum_{k=1}^{3} U_k.I_k$
Factorul de putere instantaneu trifazat		$K_i = P_T/S_T$
Coeficientul de nesimetrie negativă		$k_{\bar{U}} = \frac{U^-}{U}.100$
Coeficientul de nesimetrie zero		$k_U^0 = \frac{U^0}{U}.100$

Coeficientul de nesimetrie negativă k^-_U definit ca raportul dintre componenta negativă (inversă) U^- a tensiunii şi componenţa pozitivă (directă) U^+ a tensiunii (practic egală cu valoarea efectivă U în cazurile practice) poate fi calculat şi pe baza valorilor determinate ale valorilor efective ale tensiunilor pe fază U_1, U_2 şi U_3 sau ale tensiunilor între faze U_{12}, U_{23} şi U_{31} [2].

$$k_{\bar{U}} = \frac{U_1 - \dfrac{U_1+U_2+U_3}{3}}{\dfrac{U_1+U_2+U_3}{3}}.100 = \left(\frac{3.U_1}{U_1+U_2+U_3}\right).100$$

sau

$$k_{\bar{U}} = \frac{U_{12}^2+U_{23}^2+U_{31}^2 - \sqrt{3(U_{12}^2+U_{23}^2+U_{31}^2)^2 - 6(U_{12}^4+U_{23}^4+U_{31}^4)}}{\sqrt{6(U_{12}^4+U_{23}^4+U_{31}^4) - 2(U_{12}^2+U_{23}^2+U_{31}^2)^2}}.100$$

Valorile efective ale tensiunilor pe fază se determină la intervale date de timp şi se prelucrează statistic. Se calculează probabilitatea cumulativă 95 % pentru fiecare fază şi se compară cu nivelul de compatibilitate impus prin norme.

Deoarece pentru analiza golurilor de tensiune şi a întreruperilor de scurtă durată încă nu sunt elaborate norme, UNIPEDE [4] recomandă efectuarea unei analize statistice, pe baza unei matrici amplitudine-durată. După calculul valorii efective (rms) a tensiunii pe fiecare ciclu (cu valoarea tensiunii între două praguri), se face comparaţia cu pragurile de tensiune declarate şi se memorează durata şi amplitudinea tensiunii. Fiecare gol de tensiune sau scurtă întrerupere se va regăsi în matricea amplitudine-durată indicată în figura 1. In general, valorile tensiunilor se raportează la valoarea contractată U_c pe barele consumatorului.

Analiza statistică a componenţei spectrale a mărimilor poate impune luarea în consideraţie a unui număr de armonici mai mic de 40 [7].

Determinarea coeficienţilor de nesimetrie (negativă şi zero) se face pe intervalele de timp indicate mai sus. Se calculează probabilitatea cumulativă CP 95% care se compară cu valorile impuse de norme [7].

În analiza supratensiunilor se defineşte valoarea de prag de 1,7 U_c şi se înregistrează numărul celor care depşesc ca durată 2 minute. Se calculează frecvenţa lor de apariţie.

Fenomenul de flicker se pune în evidenţă pe baza determinărilor privind indicatorul P_{st} [CEI 868] de scurtă durată (10 minute). Se calculează indicatorul P_{lt} de lungă durată (2 ore) utilizând 12 valori succesive ale indicatorului de scurtă durată (considerând faptul că perturbaţiile datorate fluctuaţiilor de tensiune se adună după o lege cubică).

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{1}{12}\sum_{k=1}^{12} P_{st,k}^3}$$

În afara indicatorilor impuşi de normele actuale şi care au fost daţi mai sus, există preocupări pentru introducerea unor noi indicatori pentru caracterizarea calităţii energiei electrice.

Durata / Amplitudine	10...20 ms	20...100 ms	100..500 ms	500..1000 ms	1...3 s	3...20 s	20...60 s	60...180 s
(10...15)% U_c								
(15...30)% U_c								
(30...60)% U_c								
(60...99)% U_c								
100% U_c								

Fig.1. Matrice amplitudine - durată.

Analiza armonicilor, conform normativelor în vigoare în România [7], practic aliniate la normele internaţionale [3], se face prin metode statistice, iar achiziţia de date trebuie făcută cu respectarea intervalelor de timp impuse:

- interval foarte scurt (very short), T_{vs}=3 s,
- interval scurt (short), T_s = 10 minute,
- interval lung (long), T_l = 1 oră,
- interval zilnic (day), T_d= 1 zi,
- interval săptămânal (week), T_w= 1 săptămână.

Probabilităţile cumulative (CP 95% sau CP 99%) se calculează cu valorile efective ale tensiunilor pe fiecare armonică, pe interval foarte scurt, şi se compară cu nivelul de compatibilitate electromagnetică [7].

5. Condiţii privind un program complex de măsurători

Măsurătorile care urmează a fi efectuate în sistemul energetic din România urmează a fi structurate în două direcţii principale:

- studiul parametrilor de calitate a energiei electrice livrată de furnizor şi încadrarea acestora în limitele impuse,
- studiul perturbaţiilor introduse în reţeaua electrică de către consumatori şi încadrarea acestora în limitele admise.

Având în vedere complexitatea studiului ca şi multitudinea punctelor în care este necesar a efectua determinări, se propune ca în prima etapă să se facă un studiu de identificare, utilizând echipamente mai simple, iar după punerea în

evidenţă a principalilor consumatori perturbatori, să se treacă la monitorizarea indicatorilor de calitate în aceste puncte. De asemenea, vor fi analizate posibilităţile practice pentru limitarea perturbaţiilor la valorile admise.

Planificarea campaniei de măsurători impune însă elaborarea, în această fază, a reglementărilor care să prevadă nodurile în care se face studiul, modul concret de efectuare a măsurătorilor, caracteristicile principale ale echipamentelor de măsurare şi periodicitatea măsurătorilor.

6. Rezultate obţinute şi concluzii

Determinările efectuate până în prezent de către diferite colective din ţară nu au fost încadrate într-o concepţie unitară privind analiza indicatorilor de calitate a energiei electrice, urmărind numai unele aspecte particulare. Prelucrarea statistică a datelor obţinute s-a făcut numai în puncte disparate din sistemul energetic, punând însă în evidenţă existenţa unor niveluri ridicate de poluare în reţea şi necesitatea unei abordări de ansamblu a problemei.

Pentru a asigura livrarea către consumatori a energiei electrice de calitate se propune:

• elaborarea unui program naţional de urmărire a calităţii energiei electrice pentru a stabili:

- valorile impedanţelor armonice ale reţelei de transport şi distribuţie în schema actuală şi de perspectivă a sistemului energetic,
- sensibilitatea şi imunitatea la perturbaţii a echipamentelor consumatorilor de energie electrică,
- reguli clare pentru conectarea la reţelele de JT, MT şi IT a consumatorilor perturbatori,
- soluţii temporare şi definitive pentru limitarea perturbaţiilor în reţeaua electrică,
- valori optim economic ale nivelului de compatibilitate.

• elaborarea condiţiilor tehnice privind echipamentele destinate efectuării de măsurători privind calitatea energiei electrice,

• elaborarea metodologiei concrete privind efectuarea măsurătorilor şi utilizarea acestora pentru realizarea unei bănci de date,

• înfiinţarea, la nivelul RENEL a unui colectiv de specialişti care să asigure coordonarea programelor de realizare a normativelor şi standardelor de calitate şi care să fie parte componentă a unui **program naţional de calitate a energiei electrice.**

BIBLIOGRAFIE

[1] Braun, G. *Power Quality: State of Art*, PQA, 1994

[2] Deflandre, T., Desquilbet, G. *Monitoring of Power Quality*, PQA, 1994

[3] * * * CEI 1000-4-7 *General Guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation for power supply systems and equipment connected thereto*, 1992

[4] * * * CIGRE-GT-36 *Harmoniques, parametres, caracteristiques, methodes d'etude, estimation de valeurs existantes en reseau.* In: Electra nr.77, 1981

[5] Ionescu, T. *Indicatorii de calitate a energiei electrice şi propuneri de niveluri limită admise*, In: Energetica, nr.5 seria B, 1994

[6] Arie, A. ş.a. *Poluarea cu armonici a sistemelor electroenergetice funcţionând în regim permanent simetric*, Editura Academiei Române, Bucureşti, 1994

[7] * * * PE 143/1994 *Normativ privind limitarea regimului nesimetric şi deformant în reţelele electrice*, RENEL, 1994

[8] Gheorghe, St. *Supravegherea în timp real cu microprocesoare a reţelelor electrice funcţionând în regim deformant*, Teză de doctorat, Bucureşti, 1994

[9] * * * BMI, Handbook of Power Signaures

[10] * * * *Dranetz Technologies Inc.*, Power Quality Analysis,

[11] * * * CIGRE-Working Group 36.05 *"Voltage Quality-Assesing voltage quality with relation to harmonics, flicker and unbalance*, Paris, Sesion Sept. 1992

[12] Gunther, W., Thomson, E. *Monitoring power quality levels and distorsions systems*, PQA, 1992

Referent: ing. Dan - Cristian Rucinschi - Facultatea de Energetică, Universitatea "Politehnica" Bucureşti

(Primit la 18 decembrie 1995, acceptat la 25 martie 1996)

ACTIVITATEA LABORATORULUI DE ÎNALTĂ TENSIUNE (LIT) - ICMET CRAIOVA ÎN DOMENIUL COMPATIBILITĂŢII ELECTROMAGNETICE

Conceptul de compatibilitate electromagnetică (CEM) reprezintă o modalitate de a privi interacţiunea dintre aparatura actuală, tot mai electronizată şi informatizată, şi mediul electromagnetic înconjurător. Echipamentele sensibile trebuie să poată funcţiona corespunzător în acest mediu, care nu trebuie să fie poluat de echipamentele de putere sau orice alte mijloace care pot face acest lucru.

În acest context, în cadrul CEI se desfăşoară în ultimii ani o activitate intensă în cadrul subcomitetelor 65 şi 77, care are ca scop elaborarea într-o manieră unitară (seria publicaţiilor CEI 1000) a normelor de bază în domeniul CEM. În ceea ce priveşte produsele şi echipamentele concrete, problematica CEM trebuie să fie rezolvată sub două aspecte principale: măsurarea perturbaţiilor electromagnetice introduse de acestea şi, acolo unde este cazul (echipamente electronice de regulă), demonstrarea imunităţii electromagnetice prin încercări adecvate la niveluri prestabilite.

Experienţa proprie în domeniu

Laboratorul de înaltă tensiune LIT-ICMET Craiova a fost pus în funcţiune în 1973 şi reprezintă rezultatul unei colaborări româno-germane continuate şi în momentul de faţă. A fost conceput ca o unitate specializată pentru atestarea calităţii echipamentului electrotehnic de medie şi înaltă tensiune şi, în acelaşi timp, şi ca o unitate de cercetare-dezvoltare în domeniul tehnicii tensiunilor înalte, care a introdus metode şi tehnologii de încercare noi şi a asigurat realizarea încercărilor cu grad crescut de complexitate.

Funcţionarea LIT a avut la bază recunoaşterea de către organismele interne (OSIM-1976, IGS-1979, Ministerul Industriilor - 1991, 1993) şi internaţionale (OMPI-Geneva 1982, reactualizată în 1992). În prezent, pe plan naţional, LIT este acreditat de către RELAR (certificat de acreditare 003, iulie 1995), iar pe plan internaţional participă la programul ERBCIPACT-COPERNICUS al Comunităţii Europene, destinat creării bazei materiale pentru recunoaşterea rezultatelor încercărilor şi măsurătorilor de înaltă tenisune, şi la proiectul de retehnologizare a sistemelor de măsurare finanţat de Ministerul German de Cooperare Ştiinţifică şi Tehnică BMZ prin intermediul Institutului de Fizică şi Tehnică PTB .

Măsurarea perturbaţiilor radioelectrice a fost una din preocupările de bază ale laboratorului LIT chiar de la înfiinţarea sa şi a reprezentat unul din serviciile atestate oferite pentru terţi. S-au executat măsurători de perturbaţii radioelectrice pentru majoritatea echipamentelor existente în sistemul energetic naţional fabricate de Uzinele Electroputere şi, de asemenea, pentru o serie întreagă de echipamente livrate la export (transformatoare sau echipament de comutaţie livrate în Iran, Pakistan, Malaezia, Grecia, China).

În ultimii ani s-a trecut la certificarea echipamentului electronic divers, montat pe produse Electroputere (blocuri pentru electronica de putere montate pe material rulant - rame de metrou şi suburbane, sisteme antipatinaj, excitaţii statice, termocopii, indicatoare de poziţie numerice, regulatoare de tensiune, microcontrollere folosite în automatizări industriale şi sisteme de măsurare, de monitorizare şi înregistrare defecte sau contorizare la celulele de distribuţie de medie tensiune).

Rezultatele obţinute în domeniul măsurării tensiunilor transmise din înfăşurările de IT în înfăşurările de JT ale transformatoarelor de forţă [1, 3] şi măsură [2] au permis îmbunătăţirea soluţiilor constructive utilizate de Electroputere în realizarea echipamentelor sale prin cunoaşterea şi evaluarea nivelurilor şi formei semnalelor transmise. S-au aplicat soluţii îmbunătăţite privind dispunerea înfăşurărilor la transformatoarele de putere şi a ecranelor suplimentare la transformatoarele de măsură.

Traducerea în limba română a cărţii profesorului A. J. Schwab de compatibilitate electromagnetică, în curs de apariţie la Editura Tehnică la începutul anului 1996, aduce, de asemenea, o contribuţie importantă la crearea bazei de informaţii pentru specialiştii care lucrează deja în domeniu sau care doresc să abordeze domeniul respectiv.

Toată această activitate demonstrează că soluţia adoptată de LIT-ICMET Craiova de a dezvolta un laborator de compatibilitate electromagnetică pe baza extinderii tehnologiilor de încercare proprii şi a folosirii în comun a sistemelor de măsurare performante (osciloscoape digitale, voltmetre de vârf, înregistratoare numerice etc.) este o evoluţie firească Reglementarea asigurării compatibităţii electromagnetice este realizată prin Ordinul Ministerului Comunicaţiilor nr. 134/26.04.94.

De altfel, chiar institute de prestigiu din Europa de Vest, cum ar fi Institutul de Sisteme Electroenergetice şi Tehnologia Tensiunilor Înalte (TTI) al Universităţii din Karlsruhe asociază cele două domenii menţionate - TTI şi CEM.

Organizarea laboratorului de compatibilitate electromagnetică (CEM) în cadrul laboratorului de înaltă tensiune (LIT) ICMET Craiova

Echipamente şi dotări existente

a) Spaţii

LIT-ICMET Craiova dispune de următoarele spaţii care pot fi folosite în domeniul determinărilor CEM:

• Hala de înaltă tensiune (48 x 32 x 27) m ecranată electromagnetic. Poate asigura, în mijloc, un

spaţiu complet liber de (20 x 10 x 27) m, cu o atenuare de peste 60 dB la frecvenţa de măsură 1,3 MHz.

• Două camere dublu ecranate electromagnetic, (5 x 3 x 2,5) m spaţiu util, atenuare de peste 80 dB la frecvenţa de măsură 1,3 Mhz, echipate cu tablouri experimentale care pot furniza următoarele tensiuni:

- sistem trifazat 380 V; 85 A; cu neutru;
- sistem monofazat reglabil 0-525 V, 85 A;
- sistem trifazat reglabil 0 - 380 V, 85 A;
- tensiune continuă reglabilă 0 - 525 V.

b) Echipamente

♦ Generator de impulsuri de tip supratensiune atmosferică (1,2/50 µs)

Haefely, tip 48:

- tensiune de ieşire maximă 0,5 kV (reglabilă)
- forma impulsului - reglabilă, front/spate
- regim de funcţionare
  - singular
  - repetat, sincronizat cu frecvenţa reţelei
- capacitate de şoc maximă - 1 µF (cu posibilitatea de extensie)
- energie maximă 0,125 Jouli

♦ Osciloscop de impuls Haefely, tip - Model 80:

- impedanţa intrare 1 MΩ/30 pF
- atenuator de intrare 8 trepte

♦ Generator de impuls atmosferic RFT tip SIB-10:

- tensiune de ieşire 10 kV
- forma implusului 1,2/50 µs
- capacitatea de şoc maximă 0,1 µF
- energie maximă 5 Jouli

♦ Voltmetru de vârf pentru măsurarea impulsurilor de tensiune singulare - Haefely, tip 64 M.

♦ Generator de tensiune alternativă pentru ridicarea caracteristicii de frecvenţă cu posibilitate de vobulare, Wandel Goltermman.

- tensiune de ieşire maximă: 1 V
- impedanţa internă: 50 Ω, 150 Ω
- domeniul frecvenţă: 10 kHz ÷ 36 MHz

♦ Vobulator pentru frecvenţe mari până la 800 MHz tip BWS1 RFT Germania:

- tensiune de ieşire maximă 0,5 V
- impedanţă ieşire 60 Ω
- atenuator ieşire 70 dB (reglabil)
- deviaţie de frecvenţă şi frecvenţă centrală - reglabile
- marker
- sonda IF 1,10,50 HMHz

♦ Aparat pentru măsurarea perturbaţiilor radioelectrice, tip LMZ 4 - INCO Polonia:

- domeniul de frecvenţă 0,14 ± 30,5 MHZ
- impedanţa de intrare 75 Ω
- accesorii: - antena tip bară MAZ 3 A
  - antena tip cadru
  - reţea artificială tip SMZ 5; SMZ 6;

♦ Aparat pentru măsurarea perturbaţiilor radio, tip SMV 6.1 RFT, Germania:

- domeniul de frecvenţă (0,15 - 30 MHz)
- impedanţa de intrare 75 Ω
- accesorii:
  - antena tip STA 101 (0,15-30) MHz
    FSA 101 (0,15-30) MHz

♦ Aparat pentru măsurarea perturbaţiilor radio, tip SMV 8.5 RFT Germania:

- domeniul de frecvenţă (26-1000) MHz
- impedanţa de intrare 75, 150 Ω
- accesorii:
  - antena tip DP 1 (26-300) MHz
  - antena tip DP3 (300-1000) MHz
  - reţea artificială NNB 103

♦ Generator de perturbaţii de tip burst tip EFTG 4502 HILO-TEST Karlsruhe Germania:

- tensiune ± 4,4 kV
- formă impuls 5/50 ns
- frecvenţă de repetiţie maximă 125 kHz
- tip comutator - electronic
- interfaţă PC
- dispozitiv de cuplare-decuplare - monofazat, 16 A

♦ Generator hibrid de tip CWG 4-412 HILO-TEST Karlsruhe Germania

- tensiune ± 4,5 kV
- formă impuls 1,2/50 µs (gol)
  8/20 µs (scurtcircuit)
- energie maximă 120 Ws
- comadă de declanşare sincronă cu reţeaua
- întârziere faţă de trecerea prin zero a tensiunii reţelei 0,1 - 9,9 ms
- tip comutator - electronic
- interfaţă PC
- dispozitiv de cuplare-decuplare-monofazat, 16 A.

Servicii oferite

1. Măsurarea interfeţei electromagnetice:

1.1. Măsurare perturbaţii radioelectrice cu propagare prin conducţie şi prin radiaţie în domeniul de frecvenţă 150 kHz - 1000 Mhz. Conform CISPR 1-1990, CISPR 16 - 1993.

1.2. Măsurare semnale perturbatoare transmise inductiv şi capacitiv prin transformatoare de putere şi de măsură. Conform CEI 76, CEI 185, CEI 186.

2. Determinarea susceptibilităţii electromagnetice:

2.2. Încercăriri de imunitate la echipamente electronice la trenuri de impulsuri tranzitorii rapide (BURST). Conform CEI 801-4, CEI 1000-4-4.

2.2. Încercări de imunitate la echipamente electronice la impulsuri de tensiune 1,2/50 µs, 100/1300 µs, 10/700 µs . Conform CEI 1000-4-1.

2.3. Încercări de imunitate la echipamente electronice cu impulsuri de tensiune 1,2/50 μs sau impulsuri de curent 8/20 μs . Conform CEI 1000-4-5.

3. Consulting în probleme de compatibilitate electromagnetică

Concluzii

1. ICMET-LIT este echipat pentru a putea aborda în momentul de faţă următoarele domenii:

- echipamentele de IT folosite în electroenergetică, precum şi echipamentele electronice din circuitele secundare;
- electronica de putere (surse de alimentare în comutaţie, invertoare);
- echipamente utilizare în metrologia legală atât pentru utilizare generală, cât şi pentru aplicaţii speciale (cântare de bandă pentru alimentarea cu cărbune a termocentralelor).

2. LIT-ICMET dispune de o autorizare din partea Ministerului Comunicaţiilor - Direcţiei generale de reglementări în domeniul comunicaţiilor, pentru efectuarea de astfel de măsurători.

3. În domeniul CEM, ICMET - LIT a mai contribuit la:

- Măsurarea perturbaţiilor radioelectrice (PRE) la echipamente de IT. Listă de referinţă, circa 172 poz. echipamente pentru sistemul energetic naţional sau pentru export.
- Măsurarea tensiunilor tranzitorii transmise între înfăşurări la transformatoare de forţă şi măsură [1, 2, 3].
- Verificarea imunităţii echipamentului electronic divers la acţiunea impulsurilor de tip atmosferic tf (0,5-1) μs şi de tip burst 5/50 ns 1 ÷ 4 kV executată pentru Electroputere, ICMET, INDA, IPA-Craiova.

BIBLIOGRAFIE

[1] Miri, A.M., Nothaft, A.M. Kegreis, A., Marinescu, A. *Detalied High-Frequency Modelling of Power Transformer.* TR-Ep, 1993, 16, p.23 - 27.

[2] Popescu, S. *Disturbance transmission through instrument transformers.* Proceeding - First N.S. on HC and HV Tests, Measurements and Qualification of Electric Equipment Craiova 26-29 Sept. 1995, p.303-308.

[3] Popa, D. *Estimation of Overvoltages Transmited betwen Transformer Windings.* Proceeding of Conference, "Insulation Problems in Power Transformer". Lodz, 1984.

dr. ing. Andrei Marinescu, ing. Silvia Popescu - FRE Craiova

De la Comitetul Naţional Român al CIGRE

A 36-a Sesiune a Conferinţei Internaţionale a Marilor Sisteme Electrice la Înaltă Tensiune (CIGRE) (Paris, 25 - 31 august 1996)

Sesiunea generală bienală CIGRE din anul acesta marchează un important moment aniversar din viaţa acestei prestigioase organizaţii internaţionale: 75 de ani de existenţă. Se aşteaptă ca sesiunea să se bucure de o prezentă record: perste 2500 de specialişti şi 800 de persoane însoţitoare.

În cele 15 secţiuni ale sesiunii se vor prezenta 246 de rapoarte, al căror conţinut va fi difuzat participanţilor pe suport informatic (CD-ROM). Patru mese rotunde (sesiuni panel) vor crea cadrul pentru dezbaterea unor probleme importante, de actualitate, din domeniile de activitate ale CIGRE. Expoziţia tehnică organizată cu aceeaşi ocazie este menită să ilustreze concret progresele realizate la nivel mondial în domeniul problematicii sesiunii. Trei vizite tehnice vor permite participanţilor să ia cunoştinţă de cercetările de la Electricité de France, de activitatea dispecerului teritorial Paris-Normandia şi de funcţionarea unor staţii importante de transformare şi conexiune .

Concomitent cu sesiunea vor avea loc Adunarea Generală a membrilor CIGRE, reuniunile anuale ale celor 15 Comitete Internaţionale de Studii şi cele ale Consiliului de Administraţie.

Înscrierile participanţilor la sesiunea generală CIGRE de la Paris se pot face pe baza unor formulare de participare, care sunt disponibile la secretariatul tehnic al Comitetului Naţional Român al CIGRE. Taxa de participare este de 4400 FF pentru membrii asociaţiei şi de 5500 FF pentru persoanele care nu sunt membre sau nu activează într-o instituţie având statut de membru colectiv CIGRE. Pentru informaţii şi relaţii legate de organizarea şi desfăşurarea sesiunii, cei interesaţi se pot adresa d-lui dr. ing. Călin Mihăileanu, preşedintele CNR-CIGRE (tel. 211 38 86.), d-lui ing. Sorin Pispiris, secretarul CNR-CIGRE (RENEL-GSCI, tel. 321 69 66/237) sau doamnei Lidia Barbu (secretariat tehnic CNR-CIGRE, tel. 321 44 65; 321 32 41; 321 69 66/149; fax: 321 10 10).

Primim de la programul SYNERGY

SYNERGY este programul energetic internaţional al Comisiei europene care urmăreşte să ajute ţările aflate în tranziţie să elaboreze decizii energetice.

Politicile energetice destinate programului economiilor în tranziţie au prevăzut crearea unei Asociaţii pentru Politici Energetice în România (APER), pregătirea unui studiu asupra Etichetării în energetică şi realizarea unui proiect pentru anul 1996, de finanţare a acţiunilor destinate îmbunătăţirii eficienţei energetice.

În cadrul programului asupra legislaţiei şi politicilor energetice, SYNERGY a trimis pe termen lung, Ministerului Industriilor, un consilier care este sprijinit de jurişti, speciaişti şi instructori îr. domeniu. Acum, după trei ani, acest proiect susţine o gamă largă de activităţi politice, legislative, instituţionale şi de perfecţionare.

Una dintre acţiunile care se înscriu pe linia celor sus-menţionate o reprezintă editarea în limba română a publicaţiilor din domeniul politicilor energetice, cum ar fi :

- *The Energy Charter (Carta energiei)* împreună cu comentarii, care a fost publicată de Editura Tehnică cu ajutorul SYNERGY.
- *Survey of European Energy Law (Studiu asupra legii energetice europene)* realizat de Fundaţia Europeană pentru Economia Energiei.
- *The White Paper (Cartea albă)* despre politici energetice editată de Comisia Europeană.
- *Powering the Future - Blueprint for a Sustainable Electricity Industry (Înzestrarea cu energie a viitorului - Proiect pentru o industrie energetică puternică),* de Christopher Flavian şi Nicolas Lenssen de la Worldwatch.
- *Energy Politics of the European Union (Politici energetice ale Uniunii Europene),* de Paul Lyons de la EC Inform.
- *Electricity Supply - Industry Structure, Ownership and Regulation (Producerea de energie - Structura industrială, proprietate şi legi*), editată de Agenţia Internaţională pentru Energie.

Puteţi obţine exemplare gratuite ale lucrărilor de mai sus adresându-vă la: :

Mark Velody
Energy Policy and Legislation Adviser
NIFES Consulting Group
SYNERGY Project Office
Ministry of Industries
Calea Victoriei 152
Bucureşti
Tel./fax. 40-1-613 9123
Tel. 40-1-650 5020 x 669 or 629

De la Comitetul Naţional Român al CIGRE

Primul Simpozion CIGRE în România "Impactul DSM, IRP şi al producerii distribuite asupra sistemelor electrice" (Neptun, 17 - 19 septembrie 1997)

Simpozionul internaţional CIGRE organizat în anul 1997 la Neptun, în România, are ca tematică impactul gestiunii energiei la consumator, al planificării integrate a resurselor şi al producerii descentralizate asupra sistemelor electrice, inclusiv aspectele privind concurenţa sau coordonarea în raport cu alte surse de energie.

Înscrierile cu referate pentru acest important simpozion, primul de acest fel din sud-estul Europei, se primesc la secretariatul Comitetului Naţional Român al CIGRE, pentru a fi transmise Biroului Central CIGRE de la Paris, până la data de 30 septembrie 1996. Secretariatul CNR-CIGRE este la dispoziţia persoanelor interesate pentru a oferi toate informaţiile privind tematica simpozionului şi modul de participare cu referate (CNR-CIGRE c/o RENEL-GSCI, Bd. Energeticienilor 8, Bucureşti III, tel. (01) 321 44 65, fax (01) 321 10 10 , doamna Lidia Barbu).

CONTENTS

Special issue "Electromagnetic Compatibility"

DORIN CRISTESCU, LAURENŢIU GOIA: Round Table "Electromagnetic Compatibility" 59
DORIN CRISTESCU, MARILENA UNGUREANU: The overhead electric lines disturbing level in Romania. Statistical and practical aspects 60
ROMULUS SFICHI : Optimizing the cost of a filtration facility -compensation for inductive and distorting receivers. 65
CARMEN GOLOVANOV, NICOLAE GOLOVANOV, AURELIAN CALOTOIU: Domestic appliances , as harmonic pollution sources 70
MARILENA UNGUREANU, CORNEL TOADER, STEFANIA IOAN, RADU POPA, MIRCEA SCURARIU: Electromagnetic disturbances generated by the consumers connected to low voltage networks. The effect of the modern technologies application to the consumers 77
VIRGIL GOLUMBEANU, PAUL SVASTA, NOROCEL-DRAGOŞ CODREANU: PCB (Printed Cables Board) Sub-assemblies with high electromagnetic compatibility of the supply line 85
ION CONECINI, NICOLAE GOLOVANOV, ION LUNGU, STEFAN GHEORGHE: Aspects on the electric energy quality and its monitoring 91

NEWS
ANDREI MARINESCU, SILVIA POPESCU: The activity of ICMET Craiova high voltage laboratory in the field of electromagnetic compatibility 97

RECEIVING FROM THE ROMANIAN MEMBER COMMITTEE OF UNIPEDE
* * * UNIPEDE Conferences in 1996 69

THE SYNERGY PROGRAMME 100

SOMMAIRE

Numéro spécial "La compatibilité électromagnétique"

DORIN CRISTESCU, LAURENTIU GOIA: Table ronde "La compatibilité électromagnétique" 59
DORIN CRISTESCU, MARILENA UNGUREANU: Le niveau perturbateur des lignes électriques aériennes. Aspects statistiques et pratiques 60
ROMULUS SFICHI: L'optimisation du coût d'une installation de filtrage - compensation pour les récepteurs inductifs et déformants 65
CARMEN GOLOVANOV, NICOLAE GOLOVANOV, AURELIAN CALOTOIU: Les appareils électroménagers comme source de pollution harmonique 70
MARILENA UNGUREANU, CORNEL TOADER, ŞTEFANIA IOAN, RADU POPA, MIRCEA SCURARIU: Les perturbations électromagnétiques produites par les consommateurs connectés aux réseaux basse tension. L'effet de l'utilisation des technologies modernes chez les consommateurs 77
VIRGIL GOLUMBEANU, PAUL SVASTA, NOROCEL-DRAGOŞ CODREANU: Sousensembles des plaquettes de câblage imprimé (PCB - Printed Cables Board) avec compatibilité électromagnétique élevée de la ligne d'alimentation 85
ION CONECINI, NICOLAE GOLOVANOV, ION LUNGU, ŞTEFAN GHEORGHE: Aspects concernant la qualité de l'énergie électriques et sa gestion 91

INFORMATIONS

ANDREI MARINESCU, SILVIA POPESCU: L'activité du laboratoire haute tension de l'Institut de Recherches et Projets pour le Matériel Électrotechnique - ICMET de Craiova dans le domaine de la compatibilité électromagnétique 97

NOUS RECEVONS DE LA PART DU COMITE NATIONAL ROUMAINE DE l'UNIPEDE
x x x Les conférences organisées par l'UNIPEDE en 1996 69

THE SYNERGY PROGRAMME 100

INHALT

Sonderheft "Die elektromagnetische Kompatibilitaet"

DORIN CRISTERSCU, LAURENŢIU GOIA: Gespräch am Runden Tich "Die elektromagnetische Kompatibilitaet" 59

DORIN CRISTESCU, MARILENA UNGUREANU: Der Stoerpegel elektrischer Freileitungen. Statistische und praktische Aspekte 60

ROMULUS SFICHI: Optimierungskosten einer Filter-und Kompensationsanlage fuer induktive und verzerrende Enpfaenger 65

CARMEN GOLOVANOV, NICOLAE GOLOVANOV, AURELIAN CALOTOIU: Elektrische Haushaltsgeraete als Quellen der Oberschwingungs-belastung 70

MARILENA UNGUREANU, CORNEL TOADER, ŞTEFANIA IOAN, RADU POPA, MIRCEA SCURARIU: Durch Niederspannunbgsverbraucher erzeugte elektromagnetische Stoerungen 77

VIRGIL GOLUMBEANU, PAUL SVASTA, NOROCEL-DRAGOŞ CODREANU: PCB (Printed Cables Board) - Baugruppen mit erhoehter elektromagnetischer Kompatibilitaet der Speiseleitung 85

ION CONECINI, NICOLAE GOLOVANOV, ION LUNGU, ŞTEFAN GHEORGHE: Aspekte der Elektroenergiequalitaet und ihre Monitorisierung 91

INFORMATION

ANDREI MARINESCU, SILVIA POPESCU: Die Taetigkeit des Hochspannungslabors LIT-ICMET Craiova auf dem Gebiet der elektromagnetischen Kompatibilitaet 97

WIR ERFAHREN VOM RUMÄNISCHEN NATIONALKONCITTE DER UNIPEDE

* * * Von der UNIPEDE im Jahre 1996 veranstaltete Konferenzen 69

THE SYNERGY PROGRAMME 100

СОДЕРЖАНИЕ

Особый выпуск "Электромагнитная совместимость"

ДОРИН КРИСТЕСКУ, ЛАУРЕНЦИУ ГОЙА : Бесега за круглым столом "Электромагнитная совместимость" 59

ДОРИН КРИСТЕСКУ, МАРИЛЕНА УНГУРЕАНУ : Уровень электромагнитного вазмущения на ЛЕП. Статистические и практические аспекты 60

РОМУЛУС СФИКИ: Онтимизациа стоимости фильтрационно - компенсирующей установки для индуктивных исказающих приемников 65

КАРМЕН ГОЛОВАНОВ, НИКОЛАЕ ГОЛОВАНОВ, АУРЕЛИАН КАЛОТОУИ: Бытовые приборы - источники загрязнения высшими гармониками 70

МАРИЛЕНА УНГУРЕАНУ, КОРНЕЛ ТОАДЕР, ШТЕФАНИА ИОАН, РАДУ ПОНА, МИРЧЕА СКУРАРИУ: Элекромагнитные искажения вызванные потребителями подключенными к сетям низкого напряжения. Воздействие современных технологий на потребителей 77

ВИРДЖИЛ ГОЛУМБЕАНУ, ПАУЛ СВАСТА, НОРОЧЕЛ - ДРАГОШ КОДРЕАНУ: Узлы на печатных платах имеющих высокую электромагнитную совместимость питающей линии 85

ИОН КОНЕЧИНИ, НИКОЛАЕ ГОЛОВАНОВ, ИОН ЛУНГУ, ШТЕФАН ГЕОРГЕ: Аспекты качества электроэнергии и её мониторизация 91

ИНФОРМАЦЯ

АНДРЕЙ МАРИНЕСКУ, СИЛВИЯ ПОПЕСКУ: Деятельность Лаборатории Высокого Напряжения ИКМЭТ Крайова в области электромагнитной совместимости 97

ОТ РУМЫНСКОГО КОМИТЕТА - ЧЛЕНА МЕЖДУНАРОДНОГО СОЮЗА ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ И РАСПРЕДЕЛИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ (UNIPEDE)

* * * Конференции в 1996 г. 69

THE SYNERGY PROGRAMME 100

ORSZÁGOS MŰSZAKI INFORMÁCIÓS KÖZPONT ÉS KÖNYVTÁR 1863

CENTRUL DE INFORMARE ŞI DOCUMENTARE ENERGETICĂ

CIDE

deţine o importantă bancă de date - **SIDEnerg** *- care vă poate oferi informaţii exacte privind materiale ştiinţifice de ultimă oră existente în* ***GSCI/RENEL.***

SISTEMUL INFORMATIC PENTRU DOCUMENTARE ÎN ENERGETICĂ -

SIDEnerg *- deţine date referitoare la:*

- **articole;**
- **standarde / prescripţii;**
- **reviste;**
- **brevete;**
- **cărţi/teze de doctorat/ dicţionare/rapoarte manifestări ştiinţifice.**

La cererea solicitanţilor, **CIDE**

poate elabora bibliografii pe teme date dintr-un fond documentar existent în biblioteci.

Tot la cerere pot fi efectuate traduceri şi retroversiuni.

Serviciile sunt asigurate în ordinea primirii comenzilor, în funcţie de capacitatea centrului.

CENTRUL DE INFORMARE ŞI DOCUMENTARE ENERGETICĂ

CIDE

Progres prin cercetare ***Cercetare prin informare.***

☎ 323.67.30./235

✉ Bd. Energeticienilor 8,
cod 79619
sector 3, Bucureşti

Romania
RENEL
Romanian Electricity Authority

MINISTRY of INDUSTRIES

MINISTRY of RESEARCH and TECHNOLOGY

GSCI

ROMANIAN NATIONAL COMMITTEE of the WORLD ENERGY COUNCIL

Every 2 years we organize the most important event of the Romanian power engineering community with the benefit of an international participation

NATIONAL ENERGY CONFERENCE - CNE '96

September 2-5, 1996
Neptun, ROMANIA

"Improving Energy Efficiency in a Transition Economy"

CONFERENCE SECTIONS

1. Energy Policies and Strategies. Financing of energy industries.
2. Clean and Efficient Fossil Fuel Technologies. Renewables.
3. Rehabilitation/Retrofitting of Energy Facilities :
   a) electric power plants
   b) networks
4. Nuclear Energy.
5. Predictive and Preventive Maintenance Technologies for Energy Equipment.
6. Management and Process Information Systems.
7. Environment Conservation.
8. Energy Uses.

In the Program:

- Plenary session and sections
- Poster sessions
- Round tables
- Screening of technical and advertising films
- Exhibition
- Associated events :

a) ***"Balkan Energy Industries. Trends and Goals"*** Symposium
b) USA - Romania Seminar on ***"Technical and Economic Impacts of Open Transmission Systems"***
c) Meeting of the Central and East European Group of the WEC - W/E Program

Further information and documentation available from :

the CNE '96 Secretariat
c/o GSCI
8, Energeticienilor Blvd.
79619 Bucharest 3, Romania
Tel : + 401 321 44 65
Fax : + 401 321 44 65
+ 401 321 10 10

Contact persons :
Mr Corneliu Stefanescu / Mrs Justina Nicolau

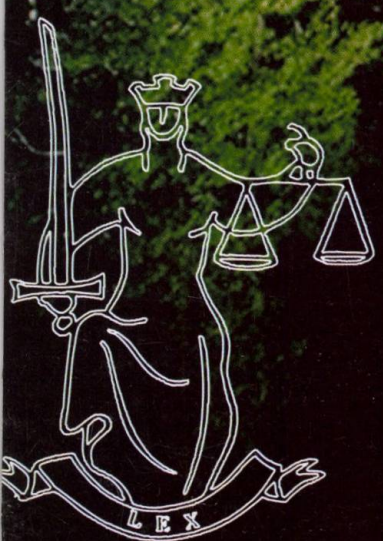
With the kind support of :
Synergy Programme (DGXVII) of EC
USAID through USEA's UPP

E2039/A
FF
8 000000 214300

ORSZÁGOS MŰSZAKI INFORMÁCIÓS KÖZPONT ÉS KÖNYVTÁR 1863

3 ENERGETICA

SERIA B



Romania RENEL

e

MAI - IUNIE 1996

ENERGETICIENI PROTEJAȚI NATURA!

Towards a better and clean use of energy

ABB Energoreparaţii Romania Ltd.
Bucharest

ABB Power T&D Ltd.
Bucharest

ABB Rometrics Ltd.
Timişoara

ABB Romania Ltd.
16, Ion Cîmpineanu street
70100 Bucharest

ABB

ENERGETICA

REVISTA DE SPECIALITATE
A ENERGETICIENILOR
DIN ROMÂNIA

ANUL 44 | Nr. 3, SERIA B | MAI - IUNIE 1996

ISSN 1220 - 5141

Număr special "Legislaţia energetică"

Revista ENERGETICA a fost înfiinţată în anul 1953, continuând tradiţia vechilor publicaţii inginereşti care au avut preocupări în domeniul energiei ca, de exemplu:

- **Diaru pentru vulgarizarea ştiinţelor naturale şi fizice (1870 - 1882);**
- **Buletinul Societăţii Politehnice (1887 - 1944);**
- **Buletinul Asociaţiei Generale a Inginerilor din România - AGIR (1919 - 1946);**
- **ENERGIA, editată de ing. Dumitru Leonida (1921);**
- **Buletinul Asociaţiei Producătorilor şi Distribuitorilor de Energie Electrică - APDE (1932 - 1944);**
- **Buletinul Institutului Român de Energie - IRE (1933 - 1944)**

Opiniile exprimate în articolele publicate în revista ENERGETICA aparţin autorilor acestora.

Orice reproducere integrală sau parţială, prin indiferent ce procedeu, a materialelor apărute în revista ENERGETICA poate fi făcută numai cu aprobarea biroului de redacţie. Sunt autorizate numai citările destinate lucrărilor ştiinţifice şi volumelor în care acestea sunt inserate .

Revista apare alternativ în două serii :

- **seria A, care tratează probleme de surse de energie, conversie de energie, poluare a mediului înconjurător, utilizare a căldurii etc.;**
- **seria B, care tratează probleme electrice, inclusiv ale centralelor electrice, staţiilor electrice, ale liniilor de transport şi distribuţie a energiei electrice , sisteme electroenergetice etc.**

Fiecare serie are 6 numere pe an .

CUPRINS

VIRGIL MUŞATESCU, NICOLAE LICIU : Masă rotundă "Legislaţia energetică" (prezentare) 105

PAUL CARTIANU: Analiza legislaţiei în domeniul energiei din perioada interbelică în România 107

GEORGE ST. PANAITESCU: Tarifele de energie electrică în perioada interbelică în contextul legislaţiei energetice (1920 - 1940) 111

RĂZVAN PURDILĂ: Restructurare şi legislaţie energetică. Dileme şi soluţii posibile pentru România 115

JEAN CONSTANTINESCU: Opţiuni de organizare a pieţei electricităţii în România - serviciu public, integrare competiţie 121

GHEORGHE INDRE: Principii şi aspecte care trebuie avute în vedere într-un proiect de lege a energiei 126

ION IORDĂNESCU: Probleme actuale privind relaţiile furnizorului de energie electrică cu consumatorii în economia de piaţă 130

OVIDIU ŢUŢUIANU: Impactul legislaţiei de protecţie a mediului asupra sectorului energetic 134

MARIN VICTOR, ELEONORA ATAMAN: Impactul termocentralelor asupra mediului înconjurător 139

GHEORGHE LUCA: Aspectele legislaţiei energetice în raport cu folosinţele amenajărilor hidroenergetice 143

DAN ION PREDOIU: Costul marginal, un reper esenţial pentru aprecierea activităţii de producţie 146

DISCUŢII

GHEORGHE LUCA - consilier ISPH şi Hidroconstrucţia 149

OCTAVIAN BRÂNZĂ - RENEL - DSP 149

IOAN CATARIG - deputat 149

EMIL CONSTIN - consilier ISPE 150

GABRIEL POPESCU - RENEL 151

MARK VELODY - consilier Ministerul Industriilor 151

ADRIAN POPESCU - NECŞEŞTI - senator 152

CUVÂNT DE ÎNCHEIERE

NICOLAE LICIU - moderator 153

INFORMAŢII 120

ANTON ROŞU: Concepţia despre rolul ştiinţei în interacţiune cu cercetarea, proiectarea şi exploatarea centralelor electrice din Germania 114

Our review publishes ADVERTISMENTS for your PRODUCTS, TECHNOLOGIES, SERVICES, etc.

Please, contact us at the address:
Revista ENERGETICA
GSCI, B-dul Energeticienilor nr.8,
Bucureşti III, RO 79619
Phone : (401)322 06 92 ; (401)321 69 66/251
Fax: (401)321 10 10
Telex: 10783

COLEGIUL DE REDACŢIE

BIROUL: dr . ing. Eugeniu PAVEL - preşedinte, redactor-şef; dr. ing. Jean CONSTANTINESCU - redactor-şef adjunct; prof. dr. ing. Dumitru Cezar IONESCU - redactor-şef adjunct; ing. Vasile RUGINĂ - secretar de redacţie; ing. Radu OPINCARU; ing. Ion CONECINI; ing. Vladimir CONSTANTINESCU; conf. dr. ing. Virgil MUŞATESCU ; ing. Dan GHEORGHIU; ing. Nicolae NICULESCU; ing. Mihai NICOLAU; dr. ing. Ioan GANEA

MEMBRI: conf. dr. ing. Florin ALEXE; ing. Ovidiu APOSTOL; prof. dr. ing. Victor ATHANASOVICI; prof. dr. ing. Adrian BADEA ; prof. dr. ing. Cornel BIANCHI; ing. Paul CARTIANU; ing. Mircea CÂRDU; ing.Radu CONSTANTIN; prof. dr. ing. Dorin CRISTESCU; prof. dr. ing. Nicolae DĂNILĂ; dr. ing. Laurenţiu GOIA; prof.dr. ing. Nicolae GOLOVANOV ; prof. dr. ing. Dumitru IVAS; prof. dr. ing Aureliu LECA; dr. ing. Gheorghe LUCA; dr. ing. Magdalena MATEI; ing. Cornel MOŢIU; prof. dr. ing. Costin MOŢOIU ; prof. dr. ing. Constantin NEAGA; prof. ing. Mircea NEMEŞ; prof. dr. ing. Valeriu NISTREANU; ing. Cornel PÂSLARU; prof. dr. ing. Alexandru POEATĂ; dr. ing. Marius POMÂRLEANU; prof. dr. ing. Florin POP; dr. ing. Teodor POPA; dr. ing. Anca POPESCU; ing. Miron POPESCU; conf. dr. ing. Petre POSTOLACHE; dr. ing. Dan Ion PREDOIU; ing. Radu REGMAN; ing. Gabriel ROMAŞCU; ing. Anton ROŞU ; ing. Margarios SALGIAN; ing. Alexandru SĂNDULESCU; ing. Emilian SIMIAN; ing. Cristian TOTOLO; ing. Anton VLĂDESCU

Redactor : Ana Maria CHIVU

Editat cu sprijinul Ministerului Cercetării şi Tehnologiei - Colegiul Consultativ pentru Cercetare Ştiinţifică şi Dezvoltare Tehnologică

Redacţia şi administraţia: GSCI, B-dul Energeticienilor nr.8, sector 3, CP 79619, Bucureşti
Telefon: (401)322 06 92; (401)321 69 66/251; Telex : 10783; Fax: (401)321 10 10

Tiparul executat la GSCI

Masă rotundă
"Legislaţia energetică"

În ziua de 5 aprilie 1996 au avut loc la sediul RENEL lucrările mesei rotunde organizate de revista ENERGETICA, cu subiectul "Legislaţia energetică". Moderatorii acestei manifestări au fost domnii conf. dr. ing. Virgil Muşatescu, dr. ing. Nicolae Liciu şi ing. Mihai Petrescu. Conducerea lucrărilor a fost preluată de preşedintele Colegiului de Redacţie, dr. ing. Eugeniu Pavel. Alături de autorii de articole au participat mulţi alţi specialişti, care şi-au prezentat opiniile.

Conf. dr. ing. VIRGIL MUŞATESCU - moderator

Necesitatea unei legislaţii specifice domeniului energiei electrice şi termice apare, în primul rând, datorită particularităţilor pieţei energiei electrice:

1. Electricitatea este în acelaşi timp un bun şi un serviciu. Pe consumator nu îl interesează să aibă energie, ci să i se satisfacă nişte necesităţi, deci să i se procure nişte servicii: iluminat, încălzit, forţă, răcire etc.

2. Energia nu poate fi stocată şi nici nu circulă în direcţia în care dorim, ci după legi fizice bine lămurite.

3. Nu are o individualitate, deci nu are importanţă de unde provine, însă trebuie să acopere cererea în orice moment.

4. Industria energetică este deosebit de intensivă în ceea ce priveşte capitalul (ca orice infrastructură).

5. Durata de realizare a unui obiectiv energetic este mai mare decât pentru multe alte ramuri industriale.

6. Diferenţele structurale între diversele situaţii naţionale, ca şi lipsa persistentă de armonizare chiar în cadrul unor uniuni economice şi politice, cum este cazul UE, face imposibilă alegerea unui model universal de structură al sectorului, deşi principii comune ca dezvoltarea durabilă, siguranţa în alimentare, extinderea concurenţei, grija faţă de mediu, reducerea costurilor, eficienţa utilizării resurselor sunt factori comun acceptaţi.

Pentru ţări în tranziţie, ca România, la care noile relaţii economice impun o modificare radicală în cadrul unei reforme coerente, modificare care să stabilească un mediu economic adecvat şi - prin aceasta - să permită o dezvoltare reală şi durabilă, acest cadru legislativ trebuie să se integreze în strategia generală a ţării. În plus, voinţa politică exprimată de totalitatea partidelor parlamentare, de a sprijini procesul de aderare a ţării noastre la Uniunea Europeană, face ca armonizarea cu acest organism să devină o necesitate.

Care ar trebui să fie întrebările la care să se răspundă printr-un astfel de nou cadru ?

1. Fundamentală este forma de proprietate în sector: a autorităţii publice centrale sau locale, privată naţională, privată străină, mixtă pentru o perioadă tranzitorie etc. Trebuie subliniat că retragerea graduală a statului din sector trebuie să fie coerentă cu politică generală de privatizare din cadrul reformei.

2. Care este autoritatea care îndeplineşte funcţia de decident al strategiei sectorului şi al politicilor de implementare a acestei strategii?

3. Cine îndeplineşte rolul de reglementare a pieţei, pentru ca distorsiunile pieţei să fie minime ?

4. Care sunt actorii care activează pe piaţa energiei electrice şi ce relaţii pot ei realiza ?

5. Cine îndeplineşte rolul de manager al diverselor activităţi din cadrul acestui sector ?

6. Cine le coordonează în scopul unei exploatări economice şi sigure ?

şi în sfârşit, dar nu în ultimul rând,

7. Cum se asigură protecţia consumatorilor şi transparenţa furnizării de energie (calitate, cantitate, tarif, moment al livrării etc.).

Toate acestea trebuie să permită o bază sănătoasă pentru discuţii deschise privind politicile energetice din punct de vedere economic, financiar, tehnic şi al mediului.

Sper ca şi această masă rotundă, propusă de revista ENERGETICA, să contribuie la clarificarea unora din aceste aspecte.

* * *

Dr. ing. NICOLAE LICIU - moderator

S-a vorbit despre necesitatea unei noi legislaţii energetice după anul 1989.

Se cuvine, cred, să ne întrebăm acum care au fost unele dintre *principalele aspecte de ordin juridic* cu care s-au confruntat cei implicaţi în realizarea acesteia.

1. Tematica mesei noastre rotunde este "legislaţia energetică".

Conform dicţionarului Larousse, prin **"legislaţie"** se înţelege un ansamblu de legi, de dispoziţii legislative ale unei ţări sau privind un anume domeniu (în cazul nostru, legislaţie energetică).

2. Analiza situaţiei existente în anul 1992, când a început să se pună mai intens problema realizării noii legislaţii energetice în ţara noastră, a evidenţiat o realitate asemănătoare unui puzzle.

O serie de fragmente ale acestuia puteau fi considerate corespunzătoare şi pentru noua realitate economico-socială a ţării (spre exemplu, multe normative, prescripţii şi instrucţiuni).

Alte părţi existau, dar era necesar să fie revizuite pentru a fi adoptate transformărilor rapide din societatea românească (spre exemplu, HGR din 1991, de înfiinţare a Agenţiei Române de Conservare a Energiei).

Şi în fine, în unele locuri esenţiale erau pete albe. Lipseau reglementări cu caracter de lege pentru energia electrică, energia termică, pentru petrol, mine; nu erau adoptate încă legi privind alte domenii, dar cu influenţe importante asupra sectorului energetic. Nu aveam încă regulamente de furnizare şi utilizare a energiei electrice, energiei termice şi gazelor naturale; lipseau reglementările necesare privind conservarea energiei, dezvoltarea în siguranţă a energeticii nucleare, promovarea surselor noi de energie şi altele.

3. O problemă importantă la care a trebuit să reflectăm a fost: *ce fel de legislaţie energetică să elaborăm: o legislaţie de tip primar,* care legiferează în primul rând principii, sau o *legislaţie de tip secundar,* respectiv hotărâri şi reglementări care specifică modul în care principiile legiferate vor fi interpretate şi aplicate. Desigur, este nevoie de ambele categorii, dar din considerente de durată a elaborării şi adoptării, s-a considerat necesar să se dea prioritate elaborării unei legislaţii de tip primar, cu unele elemente de tip secundar, urmând ca, ulterior, să întocmim reglementările detaliate din cea de a doua categorie.

4. Legat de alternativa elaborării unei *singure legi a energiei* (aşa cum au fost legile din 1924 şi 1930) sau a unor *legi distincte pentru diferite sectoare din energetică,* s-a optat pentru a doua soluţie, pe de o parte datorită creşterii complexităţii problematicii necesar a fi legiferate, dar şi, nu în ultimul rând din considerente de timp, ideea că unele dintre aceste legi ar putea fi elaborate mai rapid, umplând astfel parţial vidul legislativ existent.

Desigur, aceasta nu exclude posibilitatea ulterioară de conexare a acestor legi cu specific energetic într-o singură lege a energiei.

În acest context, un aspect important a fost dacă să se elaboreze legi separate pentru energia electrică, respectiv termică sau o singură lege. S-a considerat ca mai potrivită pentru situaţia din România, care are o mare dezvoltare a termoficării industriale şi urbane, *elaborarea unei singure legi a energiei electrice şi termice.*

5. S-a pus, de asemenea, întrebarea: *ce fel de lege trebuie să fie legea energiei electrice şi termice ?*

Din acest punct de vedere, Constituţia României tratează în articolul 72 categoriile de legi ce pot fi adoptate de Parlament: legi constituţionale, legi organice şi legi ordinare, precizând pentru fiecare domeniile pe care acestea le reglementează. În cazul energiei electrice şi termice este limpede că aceasta va fi o *lege organică.*

6. Ne-am confruntat şi cu întrebarea : *ce fel de prevederi trebuie să conţină noua legislaţie energetică ?* Să avem în vedere includerea doar a unor prevederi de tip "hard law" (care instituie obligaţii ferme) sau şi a unora de tip "soft law" (care enunţă principii şi posibilităţi) ?

Au existat opinii care susţineau că nu ar trebui să avem în legea energiei electrice şi termice decât prevederi de tip hard law, dar am argumentat că, dacă ne propunem să includem în legislaţia energetică românească prevederi din Tratatul Cartei Energiei (semnat de ţara noastră şi aflat în curs de ratificare) sau alte documente juridice internaţionale, atunci trebuie să avem şi prevederi de tip soft law. Menţionăm că în Tratatul Cartei Energiei sunt numeroase astfel de prevederi (spre exemplu, formulări precum "best efforts", "Protocol on Principles for Nuclear Energy").

7. În mod evident, în elaborarea legislaţiei energetice româneşti trebuie să luăm în considerare *sursele de drept intern şi sursele de drept internaţional.*

În ceea ce priveşte *relaţia dintre dreptul internaţional şi dreptul intern,* Constituţia României stipulează clar în articolul 11:

(1) Statul român se obligă să îndeplinească întocmai şi cu bună credinţă obligaţiile ce-i revin din tratatele la care este parte.

(2) Tratatele ratificate de Parlament, potrivit legii, fac parte din dreptul intern.

Acesta este cadrul în care trebuie să fie gândită *armonizarea legislaţiei energetice interne cu cea internaţională,* obiectiv esenţial în procesul integrării ţării noastre în Uniunea Europeană şi alte organisme internaţionale.

8. În elaborarea legislaţiei energetice, considerăm important să se ţină seama de *principiul subsidiarităţii,* care, în dreptul administrativ, conduce la delegarea verticală a răspunderilor.

9. Sigur, toate aceste dezvoltări în legislaţia energetică românească trebuie abordate *coerent cu evoluţia de ansamblu a legislaţiei ţării noastre.*

ANALIZA LEGISLAŢIEI ÎN DOMENIUL ENERGIEI DIN PERIOADA INTERBELICĂ ÎN ROMÂNIA

ing. PAUL CARTIANU *

Se prezintă istoricul legislaţiei energetice între cele două războaie mondiale.

The paper presents the energy law history between the two world wars.

Introducere

Analiza de faţă este o sinteză în care sunt relevate caracteristicile semnificative ale pachetului de legi referitor la domeniul energetic din perioada interbelică şi comentariile specialiştilor din acea perioadă.

Materialul poate servi orientărilor legislative viitoare, deoarece include o experienţă legislativă îndelungată, în cadrul căreia unele întreprinderi de electricitate din trecut au marcat un rol important în energetică.

Cum s-a ajuns la necesitatea unei legislaţii energetice

Electrificarea în România s-a desfăşurat de la început (1882) până în anul 1924 fără a se baza pe o lege proprie. În această perioadă de 42 de ani energia electrică a fost utilizată mai întâi pentru iluminatul unor imobile, fără ca instalaţiile electrice să folosească strada, care face parte din domeniul public.

În Bucureşti, la începutul secolului XX, erau aproape 90 de imobile iluminate electric, exécutate fără vreo autorizaţie.

Au urmat apoi iniţiative comunale de-a se executa centrale electrice şi reţele electrice pentru folosirea energiei electrice pe teritoriul localităţilor la iluminatul imobilelor şi iluminatul stradal. Executarea şi exploatarea instalaţiilor erau în sarcina unor servicii comunale sau a unor întreprinderi particulare, care obţinuseră concesiune în aceste scopuri. Concesiunea era necesară, deoarece instalaţiile electrice foloseau domeniul public al străzilor şi era acordată în baza legii pentru organizarea comunelor urbane din 1894 şi a unor legi speciale, de la caz la caz. Actul de concesiune definea condiţiile de alimentare cu energie electrică, durata concesiunii, preţul curentului electric etc.

Energia electrică a început să fie folosită de către câteva industrii, care participau şi la distribuirea energiei în unele localităţi.

Neexistând nici o coordonare, caracteristicile tehnice ale instalaţiilor electrice erau diferite. Iniţiativa inginerului Dimitrie Leonida, de a realiza o industrie electrotehnică, ar fi putut contribui la o unificare, dar rolul ei a fost puţin semnificativ.

În condiţiile arătate, la nivelul anului 1918, în toate localităţile mai importante ale ţării se folosea energia electrică, în general numai în zonele centrale ale acestora, care puteau asigura un consum minim, justificând investiţiile.

După războiul din 1916-1918 şi după ce se realizase alipirea ţinuturilor româneşti, s-a creat în lumea tehnică a ţării, îndeosebi datorită inginerilor electricieni formaţi la şcoli străine, un curent în favoarea electrificării generale rapide a ţării pentru că aveau conştiinţa că de electrificare depindea dezvoltarea generală.

Prof. Dimitrie Leonida a editat revista *Energetica*, în care a prezentat prima idee de sistem energetic, bazat pe centrale de mare putere. A făcut şi începutul, organizând studii

---

* Autorul acestei lucrări cunoaşte aprofundat legislaţia energetică interbelică datorită faptului că:

- a aplicat-o la realizarea obiectivelor energetice, centrale electrice şi reţele electrice, ale Societăţii Generale de Gaz şi Electricitate din Bucureşti;
- a sesizat deficienţele legislaţiei şi le-a adus la cunoştinţă prin referate publicate;
- a participat la elaborarea legii pentru organizările exploatărilor comunale şi activităţii desfăşurate cu membrii în Consiliul superior aferent aceste legi. *(n.r.)*

geologice la Bicaz şi a încheiat o înţelegere de finanţare cu Banca Crisoveloni.

AGIR-ul, înfiinţat în 1920, a preluat această idee, care a fost amplu dezvoltată în congresele din 1921 şi 1922, susţinând-se începerea electrificării generale cu căile ferate. În Bucureşti era naţionalizată Societatea Generală de Gaz şi de Electricitate.

Societatea Electrică, românizată sub conducerea prof. C. Buşilă şi a prof. C. Budeanu, începea să publice primele studii energetice, între care cel dintâi studiu de amenajare a unui râu (Prahova), întocmit de ing. Cristea Mateescu.

Proiectarea era stânjenită, însă, de golul de informaţii despre sursele de energie primară, despre consumurile de energie şi despre evoluţiile viitoare posibile.

Neexistând nici un serviciu pentru asemenea studii, prima inventariere a consumurilor de energie în ţară a fost realizată de Institutul Geologic (înfiinţat în primii ani ai secolului) în cadrul Comisiei de electrificare a ţării, înfiinţată la 29 iulie 1922, care şi-a încetat, însă, funcţionarea după circa 2 ani, deoarece se înfiinţase o nouă Comisie de electrificare (după intrarea în vigoare a celei dintâi legi a energiei), compusă din specialişti români şi străini, care şi-a încheiat activitatea în 1926.

Legislaţia energetică interbelică

Succesiunea cronologică a legilor

În starea de fapt arătată, se impunea intervenţia statului pentru a crea servicii energetice şi a elabora o lege a energiei.

În urma alegerilor parlamentare, care au avut loc în 1923, guvernul ţării a fost format din partidul liberal, care avea în program elaborarea legilor de unificare, între care şi legea energiei, care intra în sarcina Ministerului Industriei şi Comerţului, al cărui ministru era inginerul Tancred Constantinescu. Acesta a însărcinat pe prof. D. Leonida să elaboreze un proiect de lege a energiei.

În urma activităţii parlamentare a intrat în vigoare un ansamblu de legi, cuprinzând: legea regimului apelor (M.O. 137 din 27.06.1924), legea energiei (M.O. nr. 143 din 04.07.1924), legea minelor (M.O. nr. 143 din 04.07.1924).

În afara acestora, a intrat în aplicare legea pentru administrarea pe baze comerciale a întreprinderilor publice cu caracter economic, din 7 iunie 1924.

A urmat legea pentru exploatarea gazelor naturale, înfiinţându-se în anul 1925 Societatea Naţională de Gaz Metan.

După alegerile din 1928, guvernul format de Partidul Naţional-Ţărănesc a afirmat necesitatea atragerii capitalului particular spre o dezvoltare mai rapidă a ţării. Ca urmare au fost puse în aplicare următoarele noi legi: a energiei din 1930 şi a minelor, precum şi legea pentru organizarea şi administrarea pe baze comerciale a întreprinderilor şi avuţiilor publice (care a statuat formele de organizare).

Deşi numite legi ale energiei, legile respective tratează numai aspectele privind energia electrică, producerea, transportul şi distribuţia şi nu în integralitatea lor, deoarece pentru unele probleme trebuia să se facă apel la alte legi, îndeosebi la legea regimului apelor.

O viitoare lege a energiei va trebui să se sesizeze de aceasta.

Un eveniment de mare importanţă ce a avut loc în intervalul dintre apariţiile celor două legi ale energiei, a fost înfiinţarea Institutului Naţional Român pentru Studiul Amenajării şi Folosirii Izvoarelor de Energie, în 1926, a cărui denumire a fost ulterior sintetizată în Institutul Român de Energie - IRE. Iniţiativa şi conducerea au fost ale profesorilor ingineri Constantin D. Buşilă şi Constantin Budeanu. Activitatea, multidirecţională, a fost prodigioasă, până în momentul desfiinţării institutului de către regimul socialist.

Este remarcabil că institutul a avut caracter particular, fiind sprijinit moral şi financiar de cei ce considerau că rezultatele erau foarte utile ţării.*

În anul 1931 a fost înfiinţată Asociaţia Generală a Producătorilor şi Distribuitorilor de Energie Electrică din România - APDE, din iniţiativa Societăţii Generale de Gaz şi Electricitate din Bucureşti, cu scopul de a contribui la dezvoltarea acestui sector.

După legile menţionate, legiferarea în energetică a continuat:

- în anul 1936 s-au introdus în legea administraţiei locale dispoziţii privind energia electrică;
- la 15 iunie 1937 a intrat în vigoare legea electrificărilor rurale, pe baza căreia statul a participat pentru prima dată cu subvenţii pentru electrificare, şi anume pentru 47 comune rurale.

* Este recomandabil ca toate publicaţiile IRE să fie recuperate de la cei care le au, constituindu-se o colecţie, deosebit de utilă, care să poată fi consultată. Aceasta ar trebui să cuprindă şi toate lucrările de după 1920 care au caracter de istorie a energeticii.

Distribuţii de energie electrică în mediul rural se executaseră şi mai înainte, îndeosebi prin extinderea reţelelor urbane;

- în anul 1938 a intrat în vigoare legea pentru organizarea exploatărilor comunale, care a definit drepturile comunelor.

Principalele caracteristici ale legilor menţionate

Aceste legi au fost aplicate separat în cadrul a trei ministere. Cele două legi ale energiei au trecut în sarcina Direcţiei Energiei şi Consiliului Superior al Energiei din cadrul Ministerului Industriei şi Comerţului. În timp, atribuţiile Consiliului Superior al Energiei au fost transferate Consiliului din cadrul Ministerului Lucrărilor Publice şi al Comunicaţiilor.

Legea regimului apelor a trecut în sarcina Direcţiei Apelor şi Consiliului Superior al Apelor din cadrul Ministerului Lucrărilor Publice şi al Comunicaţiilor, iar legea electrificării rurale a intrat în sarcina aceluiaşi minister.

Legea pentru organizarea exploatării comunale a trecut în sarcina Direcţiei Generale a Exploatărilor Comunale şi a Consiliului Superior al Exploatării Comunale din cadrul Ministerului de Interne.

Această dispersie a fost uneori criticată în trecut, dar ea corespundea amplasării funcţiilor statale.

Cele două legi ale energiei, din 1924 şi 1930, şi legea pentru organizarea exploatărilor comunale din 1938 au la bază principiul *dreptului exclusiv al statului* de a produce şi transporta energia electrică şi al *dreptului exclusiv al comunelor* de a distribui energia electrică pe teritoriul lor.

Aceste drepturi exclusive sunt legitimate juridic de Constituţia din 1923, care la art. 19 stipula următoarele: *"Zăcămintele şi bogăţiile de orice natură ale subsolului sunt proprietatea statului"*, iar la art. 20 *"Căile de comunicaţie, spaţiul atmosferic şi apele navigabile şi flotabile sunt de domeniul public. Sunt bunuri publice apele care pot produce forţă motrice şi acelea ce pot fi folosite în interes obştesc"*.

Constituţia actuală, din 1991, prevede în titlul IV, punctul d, următoarele: "*Statul trebuie să asigure exploatarea resurselor naturale în concordanţă cu interesul naţional*". Adică Constituţia din 1991 exprimă acelaşi punct de vedere cu cea din 1923.

În ceea ce priveşte exploatarea surselor de energie primară, cele două legi au manifestat preocupări pentru folosirea prioritară a energiei apelor şi a combustibililor inferiori.

Drepturile menţionate pot fi concesionate de stat, respectiv de comune, celor care au posibilitatea de a executa şi exploata obiectivele energetice respective. Concesia implică un termen, la expirarea căruia statul, respectiv comuna, primesc gratuit obiectivele respective.

Decizia de concesiune, actul de naştere al obiectivelor, defineşte caracteristicile tehnice şi energetice şi soluţionează raporturile cu terţii, în principal cu proprietarii terenurilor aferente.

Legile energiei şi apelor cuprind proceduri complexe pentru acordarea concesiunilor, care trebuie să fie în atenţie la elaborarea viitoarelor ediţii.

Spre deosebire de legea din 1924, cea din anul 1930 nu pune nici o condiţie cu privire la naţionalitatea solicitatorilor de concesiuni şi nici cu privire la modul de constituire a societăţilor de producere şi distribuire a energiei electrice.

În perioada interbelică s-au manifestat şi alte puncte de vedere, cum a fost cel ce cerea ca pentru centralele termoelectrice şi reţelele electrice să se aplice regimul "autorizării" în locul celui al "concesionării".

Deoarece nu se prevedeau participări băneşti ale statului la investiţiile energetice, cele două legi ale energiei au inclus dispoziţii de stimulare a electrificării sub formele următoare:

Legea din 1924 a prevăzut în acest scop, la art. 2, includerea unui program de dezvoltare a electrificării. Cu privire la concepţia acestui program au apărut două puncte de vedere, şi anume:

a) "*un program standard cât mai complet şi precis*" de electrificare generală, mergând până la prevederea centralelor şi reţelelor corespunzătoare, adică un program rigid de dirijare în detaliu;

b) un asemenea program fiind prematur, se impunea unul orientativ *"jocul liber al dezvoltării economice naturale şi normale fiind mai tare decât un program rigid de dirijare în detaliu"*.*

A doua concepţie a fost aprobată de majoritatea specialiştilor români şi experţilor străini consultaţi la elaborarea bazei energetice din 1924. Altfel, s-ar fi ajuns la adoptarea unui program obligatoriu, care ar fi stânjenit electrificarea.

Legea din 1930 a introdus, pentru stimularea electrificării, posibilitatea de a se acorda concesiuni regionale exclusive, care obliga consumatorii de pe teritoriul respectiv să-şi procure energia electrică numai de la concesionarul regional. S-au acordat numai trei concesiuni regionale, toate cu concesionari străini, dintre care numai una a dat rezultate.

Concepţia concesiunilor regionale exclusive nu a fost acceptată de o mare parte dintre energeticieni. Expunem mai jos câteva critici.

---

* C. Budeanu "Asupra politicii şi legislaţiunei energetice în România", 1934, pag. 6 şi 7

"Concesiunile regionale riscă a se transforma în surse de nemulţumire, cu repercusiunile lor inevitabile la adresa economiei noastre naţionale. Colaborarea cu capitalul străin este necesară, dar ca să fie eficace şi interesantă trebuie să se bazeze numaidecât pe următoarele principii:

a) colaborarea intimă cu organismele economice naţionale;

b) posibilitatea unei remunerări şi a unei rambursări loiale şi sigure a capitalului străin;

c) această colaborare să nu constituie .... vreo sarcină pentru economia naţională".

Faţă de obligaţia comunelor de a se racorda "cu orice preţ la o concesiune" se poate ajunge la condiţii neeconomice.

"A împărţi ţara în regiuni energetice numai în vederea unor concesiuni este departe de a constitui problema de căpetenie a unei legislaţii a energiei".

... "Grăbirea de acordare de concesiuni regionale are forţamente la bază ideea concesiunilor străine sau cel mult în devize străine"... "Or s-a uitat cu uşurinţă că întreprinderile electrice sunt în cea mai mare parte neproducătoare de devize".

Legea pentru organizarea exploatărilor comunale a stabilit că pe teritoriul lor comunele au următoarele drepturi exclusive (art.2): "*producerea, aducerea, extragerea, distribuirea, transportul de la un loc la altul sau de la o clădire la alta, livrarea, furnizarea sau vânzarea electricităţii, energiei calorice, apei, gazului de orice fel (gaz natural sau artificial distribuit în orice mod şi orice formă, care serveşte la iluminat, încălzit în gospodării şi forţă motrice), precum şi evacuarea apelor uzate şi pluviale".*

Drepturile exclusive stipulate la art. 2 urmau să se execute sub formă de:

a) regie publică comercială în comunele cu populaţie de peste 50 000 locuitori;

b) regie directă sub formă de întreprindere comercială (potrivit art. 7 din legea pentru organizarea exploatărilor comunale) în localităţile cu populaţie de peste 14 000 locuitori;

c) serviciu comunal în cadrul administraţiilor comunale în localităţi cu populaţie sub 14 000 locuitori.

Se derogă de la drepturile exclusive ale comunelor prin următoarele dispoziţii ale legii pentru organizarea exploatării comunale (art. 13):

"Oricine va putea produce şi utiliza energie electrică, energie calorică, apă sau gaze pentru trebuinţele proprii în interiorul proprietăţii unde electricitatea, energia calorică, apa sau gazele sunt produse fără însă să traverseze căi publice sau proprietăţile altora".

Datorită acestor drepturi (prevăzute pentru energia electrică şi în legile energiei) s-au executat şi exploatat foarte multe centrale electrice ale unor întreprinderi autoproducătoare, ajungându-se ca producţia de energie electrică a acestora să întreacă producţia întreprinderilor publice.

Pentru a limita această concurenţă s-a recurs la un mijloc fiscal: aplicarea unei taxe, în favoarea comunelor, pe producţia de energie electrică a autoproducătorilor, motivată de faptul că aceştia nu participă la cheltuielile iluminatului stradal, care se execută gratuit de întreprinderile publice de electricitate.

Limitarea concurenţei pe cale fiscală a fost contestată de industriaşi.

Organizarea întreprinderilor de electricitate

În perioada interbelică au funcţionat următoarele tipuri de întreprinderi de electricitate: societăţi anonime pe acţiuni (ca, de exemplu, Societatea Generală de Gaz şi de Electricitate din Bucureşti, Societatea Electrica), regii publice, regii mixte, concesiuni, întreprinderi comunale, servicii comunale, regii cooperatiste.

Alegerea tipului depinde de amploarea activităţii dezvoltate, care în perioada interbelică a variat de la unităţi mici la unităţi foarte mari.

Începând din 1924, s-a urmărit continuu apropierea principiilor de organizare a activităţilor economice publice de acelea ale activităţilor particulare. În acest scop se impune ca întreprinderile să aibă: largă autonomie, controlată prin concurenţă, şi capacitate de mobilizare a mijloacelor financiare pentru a asigura un ritm continuu de progres tehnic prin investiţii.

O asemenea întreprindere trebuie să dispună de o conducere: competentă, cu iniţiativă şi cu spirit de progres.

Apreciind că în viitor vor funcţiona în energetică întreprinderi mari, considerăm că formele de organizare preferabile vor fi societăţi anonime (ca model Societatea Generală de Gaz şi de Electricitate din Bucureşti) şi regii mixte (ca model Societatea Naţională de Gaz Metan).

Concluzii

În perioada interbelică, în cadrul IRE şi APDE s-a desfăşurat o largă activitate de studii şi dezbateri de politică energetică. O sinteză din aceste studii va constitui un material documentar, care va întregi prezentul articol.

TARIFELE DE ENERGIE ELECTRICĂ ÎN PERIOADA INTERBELICĂ ÎN CONTEXTUL LEGISLAŢIEI ENERGETICE (1920 - 1940)

ing. GEORGE PANAITESCU

Prezenta expunere se referă la tarifele practicate pentru energia electrică în România în perioada interbelică (1920 - 1940), din care rezultă multitudinea şi varietatea acestor tarife. Ca exemplificare, se dau câteva detalii la tarifarea energiei electrice practicate de fosta Societate de Gaz şi Electricitate (SGGE) din Bucureşti, care, în mare măsură, corespund şi cu recomandările actuale privind structura tarifelor pentru energie electrică din legislaţia europeană asupra energiei (SYNERGY - România (22), pag. 40-41).

The paper refers to the electricity tariffs in Romania between the two world wars (1920 - 1940), pointing out to the multitude and the variety of these tariffs. For exemplification there are presented some details on the electricity billing activity of the ex-Gas and Electricity Society (SGGE) in Bucharest, which generally complies with the present requirements on the electricity tariffs mentioned in the European energy legislation (SYNERGY - Romania (22), pages. 40 - 41).

Importanţa problemei tarifării energiei electrice este şi a fost universal recunoscută, rezolvarea ei stând la baza rentabilităţii întreprinderilor de energie electrică.

În perioada considerată, tarifarea energiei electrice s-a făcut pe baza dispoziţiilor prevăzute în legea energiei din anul 1924 şi legea asupra energiei din anul 1930, abrogată parţial prin Decretul Nr. 76/950. Astfel, în articolul 45 din legea din anul 1930 se prevedea la aliniatul 2: "*Tarifele maximale în cazul concesiunii construirii şi exploatării unei reţele colective vor fi cuprinse în caietul de sarcini întocmit de Direcţia Comercializării şi energiei şi aprobat de Ministerul Industriei şi Comerţului cu avizul Consiliului Superior al energiei conform art. 6*". Conform articolului 3, aceleaşi autorităţi dădeau dreptul exclusiv concesionarilor de a produce şi de a vinde energie comunelor, judeţelor şi asociaţiilor de judeţe, fie pentru serviciile publice, fie pentru nevoile particularilor. Durata concesiunilor era limitată la maximum 60 de ani şi se publica în Monitorul Oficial. Redevenţele pentru producerea şi vânzarea energiei se plăteau de către concesionar comunelor rurale, urbane sau municipiilor din regiunea respectivă, conform articolului 5 din legea energiei.

La art. 54 se indicau condiţiile minimale obligatorii ce urmau a fi prevăzute în carnetul de sarcini:

- asigurarea continuităţii serviciului;
- condiţiile de furnizare a energiei;
- tarifele maxime diferite pentru iluminat, forţa motrice şi modul de revizuire;
- tarife pentru servicii publice;
- stipulaţia că tarifele vor fi egale pentru toţi consumatorii pentru aceeaşi cantitate de energie şi aceleaşi ore sau perioade de utilizare;
- limitele şi condiţiile în care concesionarul este obligat să satisfacă cererile de noi racorduri;
- redevenţele pe care concesionarii sunt obligaţi să le plătească comunelor respective [1,2].

Aşa fiind, la întocmirea tarifelor de energie electrică era absolut necesar să se ţină seama de o serie de consideraţii, cum ar fi:

- *de ordin tehnic* : funcţionarea în bune condiţii a tuturor instalaţiilor de producere, transport şi distribuţie ;
- *de ordin economic* : având în vedere preţul de cost al exploatării respective;
- *de ordin comercial* : energia electrică fiind o "marfă", se va ţine seama de legea cererii şi ofertei;
- *de ordin psihologic* : tarifele să fie cât mai uşor de înţeles, având în vedere multitudinea şi diversitatea consumatorilor;

- *de ordin legal* : respectarea tuturor prevederilor din contractele de concesiune [4].

Energia electrică fiind şi ea o "marfă", preţul de cost se compune în esenţă din două părţi:

1 - o parte fixă, independentă de cantitatea de energie electrică produsă (amortisment, reparaţii, salarii, predare);

2 - o parte variabilă, proporţională cu cantitatea de energie electrică produsă (combustibil, ulei, apă de răcire şi adaos etc.).

Deci preţul de cost al energiei electrice are o structură binomă, iar fiecare din termenii acestui binom se compune din numeroase elemente.

Deşi energia electrică are caracter de "marfă", totuşi are unele particularităţi, cum ar fi:

- predarea energiei electrice la consumator se face printr-o reţea de distribuţie ireductibilă, deci costurile de transport şi distribuţie sunt fixe, indiferent de cantitatea transportată;
- cererile consumatorilor variază continuu, din oră în oră, din zi în zi, din lună în lună, din an în an, ceea ce determină necesitatea de rezerve mari în unităţile generatoare şi în reţelele de transport şi distribuţie, deci investiţii foarte mari;
- legătura instantanee între consum şi producere, în timp, în cazul altor produse, aceste operaţii sunt independente;
- lipsa posibilităţiilor tehnice de a stoca economic energia electrică, impune necesitatea de a avea instalaţiile pregătite să facă faţă cererilor consumatorilor în orice moment [3, 4, 6, 11, 13, 15, 16, 17 ,20].

Drept consecinţă, unele capacităţi de producţie, transport şi distribuţie vor avea un factor de utilizare mic, ceea ce micşorează rentabilitatea întreprinderilor de energie electrică. În afară de durata de utilizare, preţul de cost al energiei electrice, este în funcţie şi de ora la care este produsă, de distanţa de la centrala electrică la fiecare consumator, ceea ce determină ca stabilirea unui preţ de cost ideal să fie practic imposibilă.

Totodată, şi stabilirea unui tarif care să satisfacă concomitent pe producător şi consumator este practic imposibil de rezolvat, şi din această cauză s-au întocmit o varietate de tarife, care aveau să satisfacă un număr oarecare de condiţii, considerate mai importante la timpul respectiv [7,16].

Din lucrările Congresului Asociaţiei Generale a Producătorilor şi Distribuitorilor de Energie Electrică din România (APDE) din octombrie 1936, rezultă că, deşi existau o diversitate foarte mare de tarife, totuşi acestea puteau fi grupate în trei categorii:

a) tariful binom adaptat mai bine la curba preţului de cost (hiperbola);

b) tariful global (fără nici o bază ştiinţifică);

c) tariful după contor, bazat pe ipoteza că orele de utilizare a receptoarelor electrice sunt, pactic, aceleaşi, dar care nu mai corespund în momentul apariţiei altor utilizări pe lângă luminatul propriu-zis [21]. Pentru înlăturarea acestei stări în fapt, întreprinderile producătoare de energie electrică, după modelul unor tarife practicate în diverse ţări (Elveţia, Franţa, Germania, SUA etc.) au introdus anumite reduceri, rezultând un număr mare de tarife, din care caracteristice sunt:

a) tariful unic cu contor;

b) tariful cu contor după categoria consumatorului(luminat, forţă motrice);

c) tariful multiplu după momentul consumului;

d) tariful eşalonat pe tranşe cu preţuri degresive;

e) tarife bloc - plata minimă lunară;

f) tariful degresiv după puterea instalată sau mărimea apartamentului;

g) tariful binom - taxa de putere şi preţ de energie.

Aşa fiind, tarifele practicate variau după categoriile de consumatori, după structura preţului de cost, dar şi după fiecare întreprindere de energie electrică. Aplicarea acestor tarife era condiţionată şi de existenţa aparatelor de măsură, necesare la aplicarea tarifului respectiv pentru fiecare categorie de consumatori.

În vederea reducerii pierderilor de energie electrică unele întreprinderi au introdus la marii consumatori industriali şi clauza energiei reactive funcţie de valoarea factorului de putere (cos φ) [4,5].

În exemplificarea celor expuse, ne vom referi la Societatea de Gaz şi de Electricitate (S.G.G.E), înfiinţată în 1906 la Bucureşti, având cel mai variat sistem de tarifare. Chiar din 1908 tarifele diferenţiale pentru iluminat 0,80 lei/kWh şi pentru forţa motrice 0,35 lei/kWh, iar din 1913 pentru iluminat s-au introdus tarife cu trepte de consum, asfel : primele 400 kWh/an cu 0,80 lei/kWh, următoarele 300 kWh/an cu 0,68 lei/kWh, următoarele 300 kWh/an cu 0,60 lei/kWh, iar restul consumului cu 0,48 lei/kWh.

Mai târziu, în perioada interbelică la care ne referim, atât în Bucureşti, cât şi în restul localităţilor, apar tarife diferenţiate în funcţie de condiţiile locale de producere, de natura surselor primare de energie, de natura consumatorilor, de scopul utilizării, de durata de utilizare: zilnică, lunară sau

anuală, precum şi de cointeresarea materială a întreprinderilor respective.

Desigur că, în afara tarifelor publicate, întreprinderile respective practicau şi tarife care aveau caracter secret. Astfel s-a ajuns ca în România să se practice concomitent un număr de câteva sute de tarife pentru energia electrică. Unele încercări de uniformizare a categoriilor de consumatori, a structurii şi a tarifelor de aplicat, s-au făcut de către I.R.E. (Institutul Român pentru Energie) şi APDE, dar au rămas doar simple deziderate, deoarece fiecare întreprindere furnizoare urmărea o cât mai mare rentabilitate proprie [10]. Abia după naţionalizarea întreprinderilor (11.06.1948), când şi cele de energie electrică au fost puse sub conducerea unică a Ministerului Energiei Electrice şi Industriei Electrotehnice (MEIE), s-a putut desfăşura o activitate de unificare a tarifelor. Astfel, pentru consumurile de iluminat, unificarea s-a făcut în anul 1950, iar pentru consumatorii de forţă motrice, în mod treptat, în perioada 1953-1963 [21].

În cele ce urmează se prezintă în mod succint tarifele publicate şi aprobate de S.G.G.E între anii 1938-1940.

Astfel, pentru iluminatul general (indice L) pentru magazine, birouri etc :

L1 tarif unic cu rabat anual;

L2 tarif pe tranşe după sezon, iarnă-vară câte 6 luni;

L3 tarif pe tranşe pentru consum de noapte [16-21] ;

L4 iluminat extern vitrine, firme luminoase.

Pentru consumul la locuinţe (indice C)

C1 tarife pe tranşe, după mărimea apartamentului şi sezon (6 luni);

C2 tarife pe tranşe, după mărimea apartamentului, sezon şi consum de noapte (boyler);

C3 tarife pe tranşe, după mărimea apartamentului, sezon şi consum bucătărie electrică;

C4 tarife pe tranşe, după mărimea apartamentului, sezon şi consum sezonier răcitor electric.

Pentru consumul la forţă motorice (indice FM):

FM1 tarif unic;

FM2 tarif pe tranşe (câte 100 kWh lunar de fiecare kW) rest tranşa a II-a;

FM3 tarif diferenţiat: în afara orelor de restricţie şi în timpul orelor;

FM4 tarif aplicat numai la consumul de noapte.

În afara tarifelor arătate mai sus se mai aplică tarife preferenţiale de iluminat şi forţă motrice pentru instituţii şi dependinţe comunale. În plus, pentru forţa motrice, în afara tarifelor FM1, FM2, FM3, FM4, existau şi o serie de tarife pentru industria mare, având o putere de minimum 45 kW şi care se obligau la o anumită utilizare anuală a puterii contractate, în diverse variante [5,12]. În contractele încheiate se prevedea şi clauza de variaţie a tarifului aplicat funcţie de variaţia preţului păcurii [14].

Celelalte tarife curente se modificau la cererea SGGE şi cu avizul Direcţiei Generale a Exploatărilor Comunale din cadrul Ministerului Afacerilor Interne şi se publicau în Monitorul Oficial.

În cazul marilor consumatori de forţe motrice, care consumau şi energie reactivă (kvarh), surplusul de kvarh lunar ce întrece numărul de kilowaţi-oră din luna respectivă, era facturat de SGGE cu un anumit tarif (se admitea deci un factor de putere mediu, mai mare sau egal cu 0,7).

Astfel, datorită sistemului complex de tarife aplicat de SGGE, precum şi propagandei susţinute prin toate mijloacele publicitare (reviste, pliante, broşuri etc.) şi datorită înfiinţării unui magazin de aparate electrice (TOTELECTRIC) în care se făceau demonstraţii cu diverse aparate şi se vindeau acestea, chiar în rate, numărul abonaţilor a crescut de la 5000 în 1920 la peste 100000 în 1940, iar producţia de energie electrică a crescut de la 16 mil.kWh la peste 200 mil.kWh în aceeaşi perioadă [8,9].

Totodată, din cele 83 centrale electrice ale întreprinderilor industriale din Bucureşti, până în anul 1933, şi-au încetat activitatea energetică 30, racordându-se la reţelele electrice ale SGGE. Din cele 50 de centrale rămase în funcţiune , unele, în mod treptat, s-au conectat la reţeaua oraşului, desfiinţându-se complet, iar altele s-au păstrat ca rezervă activă, în acest caz obligându-se la plata unui minimum de ore de utilizare anuală a puterii maxime racordate la reţeaua SGGE [21].

Odată cu începerea celui de-al doilea război mondial (1 septembrie 1939) şi-a făcut apariţia în economie inflaţia, ajungându-se la o scumpire generală a tuturor produselor (combustibili, materii prime, materiale etc.), în medie cu 485 % în anul 1944 faţă de 1939. Aceasta a dus la o majorare a tarifelor de energie electrică, aprobată, în medie pe ţară de numai 150 %, iar în cazul SGGE de numai 93%. Astfel, tarifele aprobate de SGGE au rămas cele mai mici din ţară [18,19].

Concluzii

Din cele expuse mai sus rezultă importanţa deosebită a sistemului tarifar aplicat, tarif care trebuie să conducă la o justă rentabilitate a întreprinderilor de energie electrică, concomitent cu asigurarea livrării continue a energiei electrice la parametrii normali, pentru satisfacerea în condiţii optime a consumatorilor respectivi.

BIBLIOGRAFIE

[1] x x x *Legea energiei,* 1924.

[2] x x x *Legea asupra energiei,* 1930.

[3] x x x *Memoriu relativ la politica tarifară în 1932.* În: Bul.APDE, anul I, nr. 2-3,1932.

[4] x x x *Tarification de l'energie electrique,* vol.33, IRE, 1932.

[5] x x x *Tarife de vânzare a energiei electrice,* SGGE, 1933-1944.

[6] Provinceanu, M. *Tarife de vânzare a energiei electrice.* In: Bul. APDE nr:7-8, 1933.

[7] Gheorghiu, I.S. *Modul de a face comparabile calculele preţului de cost al energiei.* În: Bul. APDE, nr.:5-6, 1936.

[8] Blanc, G.M. *Tarife şi propagandă.* In: Bul. APDE, nr:11-12, 1936.

[9] Cartianu, P. *Raport asupra propagandei.* In: Bul. APDE, nr. 9-10, 1937.

[10] Bercovici, M. *Problema unificării tarifelor de vânzare a energiei electrice.* În: Bul. APDE, nr. 9-10, 1937.

[11] Siegel. G. & Nissel, H. *La tarification de l'energie electrique,* Zurich, 1938.

[12] x x x *Cum este organizată şi cum functionează SGGE,* pag-186-193, 1938.

[13] Stefănescu Radu, I. *Tarifarea energiei electrice.* În: Bul. APDE, nr. 11-12, 1939.

[14] Ozeranschi, D. *Clauzele de variaţie a preţurilor energiei electrice.* În: Bul. APDE, nr: 5-6, 1939.

[15] Willing, W. *Tarife pentru vânzarea energiei la consumatori de joasă tensiune.* În: Bul. APDE, nr. 4, 1940.

[16] Caranfil, N.G. *Particularităţi economice ale întreprinderilor de utilitate publică.* În: Bul. APDE . nr. 1, 1942.

[17] Gheorghiu, I.S. *Taxe şi tarife în exploatările comunale.* În: Bul. APDE , nr. 3-4, 1943.

[18] Panaitescu, G. *Cum vindem noi energia electrică.* In: Bul. Gazelectra, martie-aprilie, 1943.

[19] D.I. *Costul energiei azi în România,* În: Tehnica şi viata, nr. 3, 1944.

[20] Panaitescu, G. *Tarifarea energiei electrice în R.P.R.* În: Energetică şi Hidrotehnică, nr. 5, 1955.

[21] Dinculescu, C. (colectiv 23 autori): *Istoria energeticii şi electrotehnicii în România,* Ed.Tehnică, 1981, pag.82-114, 449-453.

[22] SYNERGY România: *Legislaţia Europeană asupra energiei,* 1996

Informaţii

Concepţia despre rolul ştiinţei în interacţiune cu cercetarea, proiectarea şi exploatarea centralelor electrice din Germania

Prestigioasa asociaţie internaţională VGB (Vereinigung de Grosskraftwerksbetreiber) a transmis membrilor săi, (GSCI este membru VGB din 1992 iar RENEL din august 1995) un material în legătură cu rolul ştiinţei în interacţiune cu cercetarea, proiectarea şi exploatarea centralelor electrice din Germania. Considerăm că este utilă prezentarea acestui material, mai ales acum, când în ţara noastră se reorganizează sistemul de cercetare-dezvoltare în toate domeniile. Şi în domeniul energiei sunt căutări, încercări de a soluţiona această problemă, opinii diferite asupra efectelor posibile ale căilor celor mai potrivite de urmat.

Noţiunea (conceptul) de cercetare a devenit greu de definit în ultima perioadă. Aceasta nu mai poate fi definită ca cercetare ştiinţifică de bază pur academică; de fapt a devenit din ce în ce mai dificil ca în domeniul tehnologiei să se poată face diferenţa între cercetare de bază şi cercetare aplicativă sau între cercetare şi "dezvoltare".

Noile denumiri ca "cercetare-dezvoltare" sau "analiza de sistem" subliniază clar modificările care au loc în formele cercetării.

Există o cerinţă crescândă pentru analizele de sistem interdisciplinare. Mai mult, în ingineria centralelor electrice este necesară rezolvarea problemelor pe baza analizei de reţea de înaltă calitate.

În decursul timpului motivaţia cercetării ştiinţifice s-a schimbat. În trecut motivaţia era curiozitatea şi dorinţa de a depăşii limitele cunoaşterii şi de a şti mai mult despre legile naturii; de asemenea, exista dorinţa de a se sistematiza cunoştiinţele despre procesele care au loc în mediul înconjurător şi, în particular, în procesele tehnice.

Astăzi motivaţia este complexă: de exemplu în domeniul centralelor electrice problemele sunt: siguranţa în funcţionare, abilitatea instalaţiilor şi materialelor de a trece procedurile de licenţă, conservarea mediului înconjurător şi controlul poluării, depozitarea substanţelor reziduale, organizarea viitoare a alimentării cu energie din punct de vedere tehnic, economic şi ecologic, eficienţa producerii şi conservarea energiei etc.

ing. Anton Roşu - GSCI

(continuare în pag. 125) ➔

RESTRUCTURARE ŞI LEGISLAŢIE ENERGETICĂ. DILEME ŞI SOLUŢII POSIBILE PENTRU ROMÂNIA

ing. RĂZVAN PURDILĂ *

Intârzierile în apariţia legislaţiei energetice primare derivă în primul rând din probleme intrinseci de strategie şi politici energetice. O serie de probleme de bază - dileme în sensul folosit de autor - nu au răspunsuri clare, iar conceptele folosite sunt înţelese neunitar. Autorul face o trecere în revistă a principalelor dileme a căror soluţionare va permite abordarea coerentă a unei legislaţii energetice primare, care să susţină în mod eficace procesul de reformă în sectorul energetic. Dilemele energiei ca marfă, ale competiţiei şi ale accesului la reţea, ale clienţilor, ale tarifelor şi ale privatizării sunt evidenţiate şi ilustrate pe baza experienţei internaţionale, cu accent pe cele din Europa. Sunt trecute în revistă soluţiile posibile, din punct de vedere pragmatic, pentru România şi modul în care pot fi ele aplicate din punctul de vedere al dilemelor tranziţiei.

The delays occurred in promoting of the primary energy legislation are due mainly from intrinsic matters of energy strategy and policies. Several basic problems - dilemmas in the meaning given by the author - have not yet received clear answers and the concepts in circulation are perceived differently.

The author takes into consideration the main dilemmas that once clarified will permit to address coherently a primary energy legislation capable to sustain effectively the reform in the energy sector. Dilemmas like what kind of merchandise is electricity, competition and grid access, of clients, tariffs and privatization are outlined and illustrated using the international experience with accent on those occurred in Europe. Several pragmatic possible solutions for Romania are taken into consideration as well as how they could be implemented from the transition dilemmas point of view.

Introducere

Legislaţia energetică este un instrument principal de aplicare a unor politici energetice. Adevărul că "politicile determină legislaţia energetică şi nu invers" este pus în evidenţă şi de următoarele constatări :

- întârzierile în apariţia legislaţiei energetice primare pentru o susţinere corespunzătoare a procesului de restructurare şi dezvoltare în sectorul energiei electrice şi termice nu derivă din probleme de natură juridică, deşi ele există, ci în primul rând din probleme intrinseci de strategie şi politici energetice;
- deşi s-au facut progrese semnificative în ultimii ani şi în prezent dispunem de o strategie aprobată de Guvern privind restructurarea şi dezvoltarea sectorului energetic, un proiect al legii energiei electrice şi termice şi de un raport final Bechtel la studiul de opţiuni privind structura pe termen lung a sectorului energiei electrice, totuşi elaborarea strategiei de structurare a sectorului energetic nu este pe deplin încheiată şi acceptată de diverşii parteneri sociali;
- se folosesc principii şi concepte insuficient înţelese şi definite neunitar;
- nu s-au tranşat într-o manieră clară opţiunile în probleme de bază, astfel încât să se poată elimina complet necorelările şi chiar opoziţiile constatate între anumite obiective şi principii declarate în strategia sectorială;
- există zone de tensiune şi conflict potenţial pe fondul aspectelor semnalate mai sus, derivate şi amplificate de interesele diferite şi de multe ori divergente ale partenerilor sociali, între care trebuie adaugaţi şi principalele organisme de finanţare internaţionale în domeniu (BIRD şi BERD).

Având în vedere cele de mai sus şi necesitatea evidentă de a depăşi problemele semnalate pentru a putea dezvolta şi aprofunda procesul de reformă într-o manieră eficace, considerăm că este necesar în primul rând să ne întoarcem la conceptele şi principiile de bază cu care operăm pentru a fi corect înţelese şi folosite

* RENEL - Direcţia Management Resurse Umane

unitar. De aici ideea de a le ilustra pe baza unor dileme care determină actualele întârzieri în elaborarea legislaţiei energetice primare.

1. Câteva dileme ale restructurării sectorului energetic

1.1. Dilema energiei electrice într-o economie de piaţă

Ce este energia electrică într-o economie de piaţă? Evident o marfă. Numai atât ? Răspunsul nu este chiar simplu şi el pune în evidenţă două abordări distincte ce se pot constata pe plan internaţional :

- în viziunea anglo-saxonă energia electrică este o marfă ca oricare alta, deci importante sunt: serviciul clientului, diferenţierea preţurilor cu reflectarea costurilor complete, dereglementarea şi maximalizarea mecanismelor de piaţă, demonopolizare şi concurenţă efectivă oriunde se poate. Din această concepţie derivă invitaţia de a face profit maxim în " jungla corporaţiilor ";
- în viziunea latină energia electrică nu este o marfă oarecare, ci o marfă specială, cu caracteristici şi de produs şi de servicii; de aici ideea că importante sunt noţiunile de serviciul public şi de misiune de interes economic general, principiul neutralităţii tarifare, echilibrul între reglementare şi rolul mecanismelor de piaţă, profit minim (dar viabilitate economică şi financiară asigurată).

Cele două viziuni amintite se separă şi prin reflectarea lor juridică, care pleacă de la izvoare distincte : " common law " în primul caz şi respectiv dreptul roman, ulterior cel francez.

O întrebare deschisă este aceea dacă s-ar putea face un compromis eliminând din noţiunea de serviciu public principiul neutralităţii tarifare; personal nu credem că o astfel de interpretare ar folosi în România.

1.2. Dilema clientului

În modelul clasic de organizare a sectorului energiei electrice, monopolul integrat, toţi consumatorii sunt captivi. Ei nu pot schimba furnizorul, ci cel mult pot alege între mai multe tarife în raport de serviciile solicitate. Libertatea de a alege între mai multe alternative este totuşi o linie directoare fundamentală în orice economie de piaţă şi de accea s-a pus întrebarea " de ce n-ar avea dreptul un consumator să-şi aleagă producătorul de la care să cumpere energia electrică ?" Răspunsul afirmativ duce la introducerea noţiunii de clienţi eligibili.

Dilema clienţi captivi / clienţi eligibili este majoră, pentru că acceptarea eligibilităţii implică schimbări structurale profunde în modul de organizare clasic şi creşterea unor elemente de risc (în principal a securităţii în alimentare şi a recuperării investiţiilor). Pentru a le înţelege mai bine trebuie să abordăm următoarea dilemă, a competiţiei şi accesului la reţea.

1.3. Dilema competiţiei şi a accesului la reţea

Competiţia este una din trăsăturile fundamentale ale oricărei economii de piaţă. Maximizarea competiţiei, jocul liber al forţelor pieţii pot şi trebuie să aducă beneficii pentru societate în sensul asigurării echilibrelor economice şi al utilizării raţionale a resurselor. Sectorul energetic, însă, este departe de premisele unei competiţii pure şi perfecte, astfel încât " mâna nevăzută a lui Adam Smith " să îşi facă datoria.

Mult timp s-a considerat că întregul sector de producţie, transport, distribuţie şi furnizare a energiei electrice este un monopol natural. Dezvoltarea teoriei pieţelor contestabile, în special în cazul industriilor de reţea, a permis limitarea zonei de monopol natural. In prezent se consideră că:

- în producţie competiţia între centrale este posibilă şi binevenită, având în vedere că producerea reprezintă componenta cea mai însemnată a costului fiecărui kilowatt-oră; şi în plus de cea intermodală (cu produse de substituţie) sau cu autoproducători;
- transportul şi distribuţia (fizică/"wire business") ale energiei sunt zone de monopol natural;
- furnizarea (sub aspectul său comercial) se poate organiza pe baze competitive.

De aici prima dilemă a competiţiei pe termen scurt în activităţile de producţie :

- deschidere spre competiţie şi unde, numai în producţie sau şi în furnizare ?
- pe ce politică de combustibili se poate asigura o competiţie efectivă ?
- ce trebuie făcut pentru a asigura şanse egale tuturor competitorilor ?
- ce pondere trebuie să aibă producătorii independenţi pentru a se asigura o competiţie efectivă în producţie ?

Dilema competiţiei pe termen scurt în producţie este direct legată de dilema accesului la reţea. Existenţa consumatorilor eligibili şi a competiţiei în furnizare şi/sau a producătorilor independenţi reclamă introducerea principiului de acces nediscriminatoriu şi corect la reţea. Acest principiu are însă mai multe forme de exprimare şi de aici dilema de a alege :

- accesul terţilor la reţea (ATR) cu " common carriage " pe premisa că orice tranzacţie între oricare două puncte ale reţelei dacă este cerută devine obligatorie;

- ATR negociat pentru a preveni efectele disruptive în funcţionarea sigură a reţelei şi a unor investiţii în reţea incerte ca utilizare.

ATR-ul cu "common carriage" ridică o întrebare fundamentală: cine îşi asumă responsabilitatea echilibrului pe termen lung între capacităţi şi consum ? Pot rezolva exclusiv forţele pieţii problema dezvoltării pe termen lung ? Cum se pot limita riscurile majore ale investiţiilor eşuate?

În acest context a apărut şi noţiunea de cumpărător unic prin care producătorii concurează între ei pe o piaţă "en-gros" de electricitate şi au acces la reţea, dar nu au acces direct la consumatorii finali. Acest concept are meritul suplimentar că face compatibile noţiunile de concurenţă şi respectiv de misiune de interes economic general.

Competiţia poate fi introdusă nu numai în producţie pe termen scurt, ci şi în dezvoltare pe termen lung. De exemplu, realizarea şi exploatarea de noi capacităţi de producţie poate fi făcută obligatorie prin instituţionalizarea unui mecanism de licitaţie.

Introducerea şi amplificarea competiţiei pe termen scurt în producţie şi respectiv furnizare şi a competiţiei pe termen lung relativ la noi capacităţi de producţie ridică şi dilema modului de reglementare, în sensul că o piaţă mai complexă în interacţiunea ei cu elemente de monopol natural reclamă instituţionalizarea unei autorităţi independente de reglementare.

1.4. Dilema privatizării

Întrebarea esenţială pentru stat este cât de mult doreşte acesta să joace rolul de proprietar alături de celelalte două roluri inevitabile, de a defini politica energetică şi respectiv de a reglementa? Privatizarea poate aduce soluţii deosebit de utile pentru aportul de capital şi creşterea generală a eficienţei în sector cel puţin pentru zona clasică, deoarece în industria energetică nucleară lucrurile sunt mai complicate din punct de vedere practic. Privatizarea influenţeaza concepţia de restructurare a sectorului şi pune problema manierei concrete de realizare : cu nucleu dur sau cu acţionariat difuz ? capital intern, capital străin şi în ce raport ?

Introducerea unor elemente de privatizare (structură de proprietate mixtă) în activităţi de bază ale sectorului energetic din România, ar reprezenta un semnal favorabil atragerii capitalului străin, dar şi autohton necesar modernizării şi dezvoltării sectorului.

1.5. Dilema tarifării

Tariful energiei electrice este elementul fundamental cel mai sintetic legat de evoluţiile proceselor de restructurare şi dezvoltare. Pe ce principii tarifare să fie stabilite tarifele la energia electrică ? Transparenţa şi separarea costurilor ca element esenţial de stabilire a tarifelor conduce la necesitatea eliminării subvenţiilor încrucişate. Cât de repede se pot elimina fără a produce efecte economice şi sociale negative ?

Nivelul tarifului mediu este un element esenţial pentru asigurarea viabilităţii economice şi financiare a operatorilor din sistem, pentru atragerea capitalului străin. El trebuie corelat în acelaşi timp cu interese de natură macroeconomică şi socială, cu echilibrul între generaţii privind costurile dezvoltării şi modernizării tehnologice.

Complexitatea tot mai mare a mecanismelor de piaţă duce direct la o stabilire din ce în ce mai complexă a tarifelor şi a mecanismelor de reglementare. Introducerea unei autorităţi independente de reglementare reprezintă un element de ruptură, pentru că schimbă raporturile de putere şi limitează posibilităţile directe de intervenţie a statului prin tarife în atingerea unor obiective de politică socială.

1.6. Experienţa internaţională în soluţionarea dilemelor de restructurare

O foarte scurtă trecere în revistă a modelelor structurale întâlnite pe plan internaţional (fig.1) pune în evidenţă o mare diversitate de opţiuni şi soluţii :

- compania integrată vertical şi reglementată este încă modelul dominant; cele mai mari companii din ţările puternic dezvoltate ale grupului G-7 (EDF, RWE, ENEL, TEPCO, KANSAI, Hydro-Quebec, Ontario-Hydro şi Southern California Edison) sunt astfel de companii;
- pregătiri pentru trecerea la modelul structural de tip " cumpărător unic " în diverse ţări latine, şi nu numai, din Europa;
- un puternic curent de dezintegrare în care capul de pod este Anglia cu o dezintegrare verticală completă şi competiţie atât în producţie, cât şi în furnizare, cu diverse variante fie în Europa (în ţările nordice), fie în ţări din America Latină, Australia sau Noua Zeelandă;
- companii de tip holding, cum ar fi EDP (Portugalia) sau ESB (Irlanda), care rezolvă compatibilitatea între o structură integrată vertical cu exigenţele de separare transparentă a costurilor şi introducerea centrelor de profit;
- reintegrare verticală între producţie şi transport (vezi Olanda) cu respectarea exigenţelor de transparenţă a costurilor şi centre de profit distincte.

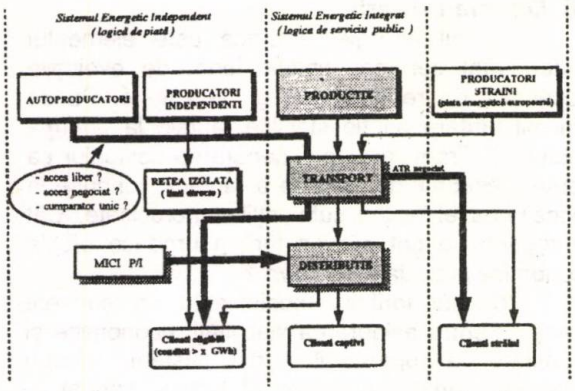


Fig.1. Modele structurale.

În acest context politica programatică a organismelor de finanţare internaţională, cu precădere BIRD şi BERD , constă în stimularea acţiunilor de corporatizare şi directivare comercială, de privatizare şi stimulare a pătrunderii capitalului privat, precum şi în preferinţa pentru dezintegrare verticală, competiţie efectivă şi reglementare independentă.

Pentru România, important este să fie înţelese nu numai efectele politicilor de restructurare din diverse ţări, ci şi cauzele care au determinat soluţiile respective. De exemplu :

- apariţia şi dezvoltarea producătorilor independenţi în SUA au plecat de la dorinţa de a încuraja producţia combinată de energie electrică şi termică prin măsuri concrete de facilităţi tarifare şi comerciale;
- accesul deschis la reţea a fost introdus tot în SUA, pentru a contrabalansa excesul de putere instalată;
- ideea din Anglia, că dezvoltarea poate fi lăsată exclusiv în seama forţelor pieţei, are la bază un sistem energetic bine pus la punct din punct de vedere tehnic şi beneficiind de ample resurse proprii de gaze naturale şi petrol.

Dilemele restructurării, aşa cum au fost enunţate mai sus, caracterizează nu numai situaţia din România, ci şi - la altă scară - cea din Uniunea Europeană. De trei ani se încearcă, fără a se reuşi pe deplin, să se promoveze o directivă pentru o viitoare piaţă unică a energiei electrice. Armonizarea unor interese şi situaţii foarte diverse între ţările membre pe baza unor idei foarte liberale (s-a propus iniţial ATR cu common carriage) nu s-a putut realiza. De aceea, în prezent se caută soluţii de compromis între ATR negociat şi cumpărătorul unic. Ele au la bază înţelegerea necesităţii de a separa activităţile şi costurile aferente, astfel încât să se evite discriminarea, subvenţiile încrucişate şi distorsiunile în competiţie. Pentru noile capacităţi necesare se are în vedere fie un sistem de autorizare, fie un sistem de licitaţie pe bază de criterii obiective, transparente şi nediscriminatorii.

Dezbaterea europeană relativ la piaţa unică de energie electrică este departe de a fi încheiată, fiecare ţară apărându-şi cu multă vigoare propriile interese şi particularităţi. Deşi tendinţele se îndreaptă către întărirea mecanismelor de piaţă, se dovedeşte cu claritate că piaţa de electricitate nu este ca oricare alta, iar dereglementările din alte industrii de reţea sunt numai parţial utilizabile ca exemplu.

2. Soluţii posibile pentru România

Soluţiile posibile pentru România trebuie să plece de la obiectivul strategic general de acoperire a consumului de energie electrică cu costuri minime în condiţii de siguranţă şi cu un impact cât mai redus asupra mediului înconjurător. Aceasta este o afirmaţie general valabilă pentru România, dar şi pentru oricare altă ţară. Pentru a avansa către soluţiile concrete trebuie realizată o îmbinare adecvată între principiile generale ale economiei de piaţă şi trăsăturile specifice ale situaţiei din România. Fără a da o descriere exhaustivă, câteva trăsături merită a fi amintite :

- termoficarea are o pondere importantă şi de aceea este necesară înţelegerea interdependenţelor între cele două subsisteme pentru optimizarea funcţionării şi dezvoltării;
- puncte critice în nivelul tehnic al instalaţiilor (fiabilitate, performanţe) şi de aici necesitatea reabilitărilor;
- elemente specifice în politica de combustibili : limite la gazul natural, distribuţie inegală a resurselor energetice interne;
- programul nuclear;
- stadiul de dezvoltare actual al economiei de piaţă, al instituţiilor şi mecanismelor sale;
- situaţia generală a economiei româneşti, persistenţa unor fenomene nedorite ca blocajul financiar, deprecierea monedei naţionale etc.

O abordare corectă a situaţiei şi posibilităţilor de intervenţie în restructurarea sectorului energetic trebuie să plece de la înţelegerea faptului că sistemul energetic naţional (SEN) este compus din două subsisteme (fig. 2) :

- sistemul energetic integrat, cu logică de serviciu public, reprezentat de RENEL şi care este dominant;
- sistemul energetic independent, cu logică de piaţă liberă, format de autoproducători şi producători independenţi, în prezent cu o pondere

nesemnificativă, dar în curs de constituire şi dezvoltare.

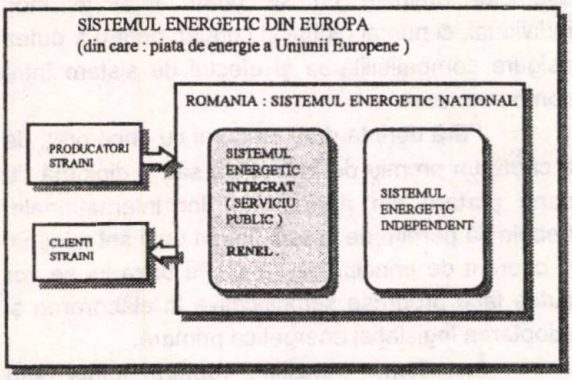


Fig.2. Sistemul energetic din Europa (din care: piaţa de energie a Uniunii Europene).

Situaţia actuală din SEN corespunde diagramei din figura 3 şi se înscrie în modelul clasic de monopol (la furnizare) integrat. Nu este lipsit de interes să se reţină că reforma RENEL nu este încă un proces încheiat, deşi a început şi a obţinut unele rezultate, deci nu se poate compara situaţia RENEL cu cea prezentă a unor companii, cum ar fi ENEL, EDF, RWE sau altele. Reforma sectorului energetic din Europa, de exemplu, a început relativ recent, pe fondul unor economii de piaţă puternic dezvoltate, al unor ţări în tranziţie către societatea postindustrială şi informaţională.

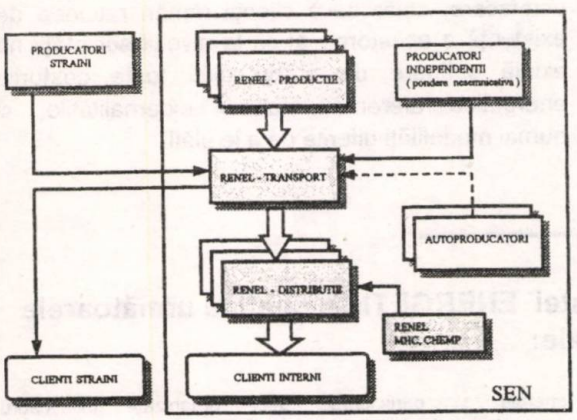
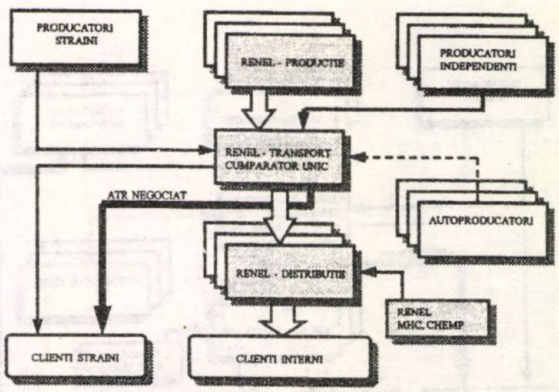


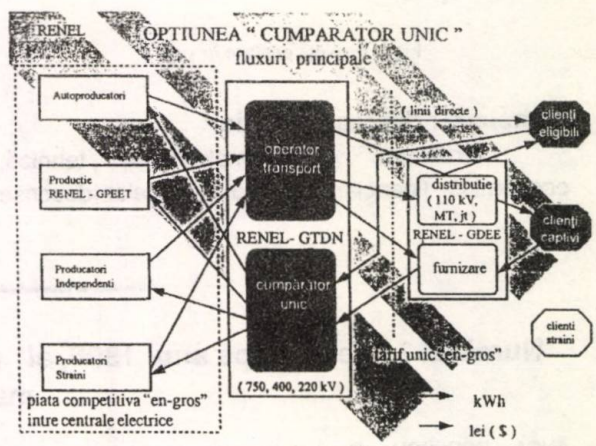
Fig.3. SEN - situaţia actuală.

În acest context, considerăm că pentru România, cel puţin pe termen mediu, structura ţintă ar trebui să fie cea cu "cumpărător unic" (fig. 4 a,b). O astfel de soluţie este compatibilă cu opiniile predominante în ţara noastră relativ la :

- importanţa serviciului public şi în cadrul acestuia a neutralităţii tarifare;
- stimularea competiţiei în producţie, dar păstrarea planificării dezvoltării, ceea ce limitează suficient de mult riscul neacoperirii sarcinii şi al investiţiilor eşuate;
- coexistenţa cu accesul garantat şi negociat, ca preţ şi condiţii, pentru export al unor producători independenţi;
- necesitatea unui echilibru dinamic între piaţa deschisă (en-gros) organizată pe modelul cumpărătorului unic şi care acoperă o serie de obligaţii de interes economic general şi piaţa liberă.



a



b

Fig.4. SEN - situaţia propusă.

În paralel se poate instituţionaliza un mecanism de scoatere la licitaţie pentru noi capacităţi sau reabilitări de capacităţi existente, care să stimuleze suplimentar atragerea de capital străin şi accelerarea formării unei ponderi semnificative a producătorilor independenţi pentru ca în producţie competiţia să fie efectivă.

Pe termen lung, odată cu aprofundarea proceselor de reorganizare din RENEL relativ la introducerea centrelor de profit şi eliminarea subvenţiilor încrucişate se poate trece la introducerea consumatorilor industriali în regim de consumatori eligibili şi lărgirea accesului negociat la reţea (fig. 5).

Politica tarifară şi respectiv politica de combustibili sunt elemente importante, ce pot accelera sau din contra frâna procesele descrise mai sus. In orice caz, alte variante care să ducă la dezintegrarea verticală imediată reprezintă modele de lux, scumpe şi total neadecvate realităţilor actuale din sectorul energetic şi economia românească.

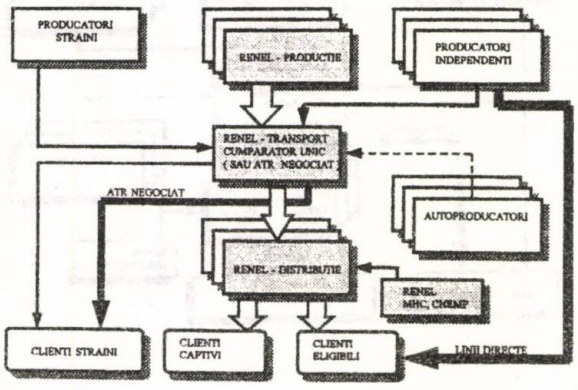


Fig.5. Evoluţii posibile în viitor.

Încheiere : dilema tranziţiei

Probleme de complexitatea tehnică, economică, financiară şi juridică a celor descrise mai sus nu se pot trata prin soluţii simpliste. Important este să se înţeleagă că soluţionarea dilemelor amintite nu se poate face în mod individual, ci numai global şi corelat, pentru a putea asigura compatibilitatea şi efectul de sistem între componente.

Fără dorinţa de fi moderni cu orice preţ, de a căuta un premiu de frumuseţe sau o diplomă de bună purtare din partea băncilor internaţionale, trebuie să pornim de la redefinirea unui set minimal şi coerent de principii de lucru. Pe baza lui se vor putea face progrese semnificative în elaborarea şi adoptarea legislaţiei energetice primare.

În dilema tranziţiei, ruptura totală sau strategia paşilor mărunţi, ambele abordări s-ar putea dovedi inadecvate. Prima, pentru că posibilitatea de asimilare a unor schimbări fundamentale nu este nemărginită, a doua pentru că prezintă riscul major al pierderii direcţiei de progres către ţintă.

Indiferent de opţiunea pe termen lung, ce va fi adoptată în cele din urmă, etapa de plecare pentru orice soluţie este continuarea procesului de reformă în cadrul RENEL, în paralel cu codificarea unor elemente de ruptură în legislaţia energetică primară, care să amorseze procese evolutive.

În încheiere, am dori să amintim un alt adevăr, adesea uitat, şi anume că oriunde în lume companiile de electricitate nu sunt societăţi de binefacere, chiar dacă clienţii rămân raţiunea de existenţă a acestora, şi că la nivelul societăţii nu există scăpare de a nu plăti toate costurile energetice aferente, inclusiv externalităţile, ci numai modalităţi diferite de a le plăti.

Numărul 3 , seria A, pe anul 1996, al revistei ENERGETICA conţine următoarele materiale:

ANCA POPESCU: Prezentarea mesei rotunde privind *"Planificarea integrată a resurselor, necesitate pentru utilizarea eficientă a resurselor ţării"*

CĂLIN MIHĂILEANU: Evoluţii recente în doctrina şi practica planificării integrate a resurselor (IRP)

ANCA POPESCU, DOINA POPOVICI, FLORICA BREAZU, OTILIA MARIN, MONICA POPESCU, EMIL POP, GHEORGHE VÂLCEREANU: Compararea diferitelor alternative de producere a energiei electrice în România

ANCA POPESCU, DOINA POPOVICI, FLORICA BREAZU, OTILIA MARIN: Problema evoluţiei viitoare a reţelei de energie a României

DANIELA SCRIPCARIU, MIRCEA SCRIPCARIU, AURELIU LECA: Abordări moderne ale relaţiei furnizor-consumator de energie şi participarea altor organizaţii în cadrul managementului utilizării energiei (DSM)

DANIELA SCRIPCARIU, MIRCEA SCRIPCARIU, AURELIU LECA : Instrumente şi măsuri necesare pentru stimularea modurilor eficiente de consum al energiei - resurse în cadrul procesului de planificare integrată a resurselor în România

AURELIU LECA, EMIL STATIE: Principii privind promovarea managementului gazului natural în România

MIHAI JADANEANT: Analiza comparativă a calculului clasic şi a celui folosind eficienţa, pentru turnurile de răcire în contracurent

INFORMAŢII

OVIDIU ŢUŢUIANU: Noua lege a protecţiei mediului

OPŢIUNI DE ORGANIZARE A PIEŢEI ELECTRICITĂŢII ÎN ROMÂNIA - SERVICIU PUBLIC, INTEGRARE, COMPETIŢIE

dr.ing. JEAN CONSTANTINESCU*

În anii '90 industria electricităţii cunoaşte în întreaga lume profunde transformări. Tradiţionalele companii de electricitate cu modelele lor de organizare sunt, din ce în ce mai mult, considerate inadecvate de către comunităţile publice, interesate într-o dezvoltare durabilă şi în protejarea consumatorilor de energie.

Societatea civilă - sensibilă la problematica mediului ambiant - şi nevoile de finanţare au determinat guvernele să liberalizeze accesul pe pieţe, să se angajeze în reducerea drastică a emisiilor poluante, să adopte măsuri pentru protejarea consumatorilor.

Innoirea tehnologică, pentru creşterea eficienţei şi aplicarea tehnologiilor curate, nu poate fi concepută fără recurgerea la investiţia particulară şi la competiţie. Dacă în astfel de termeni se pune problema în ţările cu economie dezvoltată, cu atât mai actuală este ea pentru ţări în tranziţie, ca România, care moştenesc un echipament depăşit, au resurse insuficiente de dezvoltare - modernizare şi, totodată, o opţiune cvasiunanimă de aderare la Uniunea Europeană.

Lucrarea concretizează intenţia autorului de a contribui cu sugestii la unele clarificări, în limita experienţei şi datelor de care dispune, în cadrul pregătirii acţiunii legislative în curs de desfăşurare vizând domeniul energiei.

In the '90s the world electricity industry underwent substantial changes. Public communities which are interested in a sustainable development and in an energy policy end-user oriented consider the traditional electricity utilities and their organisation even more obsolete.

The civil society - sensitive to the environmental issues - and the financial needs urged the governments to liberate the market access, to become involved in drastically reducing the pollutants emission, to initiate measures for energy consumers protection.

Updating the technology for increasing the energy efficiency and for application of clean technologies cannot be contrived without private investments and competition.

These aspects which are characteristic for the rich countries are even more important for the transition economies like Romanian's, which have inherited obsolete technology, can mobilize low resources for their modernizing and development and are strongly committed to become members of the EU.

1. Scurt istoric

Etapa iniţială a electrificării a fost foarte liberală. Instalaţiile de producere şi de distribuire a energiei electrice erau rodul unor multiple iniţiative ale statului, comunelor sau particularilor. Ulterior, aceste activităţi s-au concentrat în unităţi tehnice şi comerciale din ce în ce mai mari, în principal în scopul reducerii costului energiei.

În acest proces evolutiv, întreprinderile de energie, indiferent forma de proprietate, au fost recunoscute de "interes", de "utilitate" sau de "distribuţie publică", prin faptul că o parte din energie era vândută la terţi [1]. În 1939 existau în România 229 de întreprinderi de distribuţie publică, din care 113 societăţi particulare şi concesionare, 85 servicii şi întreprinderi comunale, 10 regii publice comerciale, 14 regii mixte şi 7 administraţii de stat [2].

Statul îşi întărea controlul şi participarea prin autorizatii şi concesionări pentru suţinerea electrificării.

La acordarea **autorizaţiilor** se avea în vedere şi "programul politicii energetice de îmbunătăţire a randamentelor, reducere a

* RENEL - GSCI, Centrul de Cercetare

consumaţiei de combustibili şi utilizare raţională a combustibililor, potrivit intereselor economiei nationale" [3].

Concesia se acorda pentru lucrări presupuse în responsabilitatea statului sau a altor autorităţi publice ca, de pildă, centrale hidroelectrice şi reţele electrice.

Opinia cvasigenerală era însă impotriva etatizării. Directorul general al Uzinei Electrice Sibiu scria în 1936 [4]: *"Administrarea pe cale economică-particulară a distribuţiei energiei, electrice* (în sens larg, de alimentare cu energie n.n.) *trebuie preferată ca asigurând un succes mai mare, spre folosul tuturor. Nici chiar în statele cu situaţie financiară strălucită nu s-a gândit nimeni să lase asemenea instalaţii pe seama statului*". Iar societăţile "Electrica" şi "Lignitul", în legătură cu mult discutata intervenţie a statului pentru reducerea preţului energiei, declarau într-un raport din acelaşi an: *"Primul gând venit în mintea unui demagog ar fi soluţionarea problemei prin obligarea producătorilor şi distribuitorilor de a coborî preţul de vânzare sub cel de cost. Credem că pentru oamenii de bună credinţă este inutil să mai insistăm asupra imposibilităţii de a ajunge la vreun capăt prin ajutorul acestei soluţii, pur şi simplu irealizabilă"* [5].

La stabilirea tarifelor se admitea, totuşi, un fel de subvenţie încrucişată, de la consumatorii de tip industrial la iluminatul public şi clienţii casnici, deoarece ultimii înregistrau un număr foarte mic de ore de utilizare [6].

După ultimul război mondial, în Est şi în câteva ţări occidentale au survenit etatizări, cu diferenţe mari în ceea ce priveşte organizarea şi managementul. Economiile ruinate de război resimţeau puternic lipsa de capital, iar problemele sociale se acutizaseră.

Formele de organizare a industriei energiei au ajuns la o mare diversitate în ceea ce priveşte proprietatea, structura organizatorică, managementul şi numărul de participanţi.

Până de curând, societăţile integrate vertical - producere, transport, distribuţie - constituiau modelul dominant. De stat, publice sau particulare, acestea asigurau energia într-un anumit teritoriu în absenţa competitorilor.

După ani de dezvoltare, mai ales extensivă, aceste companii au început să manifeste semnele ineficienţei: supradimensionarea capacităţilor, excesul de personal, preocuparea insuficientă pentru înnoirea tehnologică.

2. Reglementare şi serviciu public

Reglementările speciale stabilite de guverne pentru corectarea efectului de monopol nu au putut compensa pierderea de performanţă rezultată din eliminarea competiţiei.

Cel mai important element al reglementării este preţul energiei. Acesta are la bază o formulă menită să asigure recuperarea costurilor şi a capitalului investit în condiţii "rezonabile":

$$C + r \Rightarrow p.$$

Costurile se reduc în special prin încărcarea centralelor, în ordinea "de merit". Nu sunt stimulate suficient alte măsuri de ieftinire a energiei ca, de pildă, creşterea productivităţii şi ameliorarea randamentelor.

În afară de preţ, se mai reglementează: planificarea şi procedurile de aprobare a investiţiilor; regimul de concesiuni; supravegherea contractelor; aspectele tehnice ale funcţionării şi conducerii sistemului; impactul asupra mediului înconjurător; problemele de sănătate ale angajaţilor.

Caracteristica de bază a acestor reglementări derivă din aşa-numitul concept de "serviciu public". Serviciul public este în general asociat infrastructurii economice şi sociale. Îşi are justificarea prin rolul asumat de puterea publică (guvern, autoritate locală) de protector al intereselor cetăţeanului consumator/client, în special sub două aspecte:

- dreptul de a primi serviciul solicitat;
- dreptul la echitate tarifară.

Pentru furnizorul de energie decurge **obligaţia de a presta serviciul**, nediscriminatoriu, în condiţiile reglementate. Autoritatea de reglementare poate fi, în acord cu cadrul legislativ naţional, puterea publică însăşi sau o agenţie specializată, aflată, mai mult sau mai puţin sub controlul puterii publice.

Recunoaşterea existenţei unui serviciu public impune o serie de precizări asupra naturii, funcţionării şi gestionării acestuia. Este de observat că regimul de serviciu public oferă puterii tutelare un instrument puternic de politică economică şi socială.

3. Dereglementarea sau de la serviciul public la piaţa electricităţii

Breşa în sistemul de organizare arătat mai înainte apare în SUA, după crizele petrolului (PURPA Act., 1978). Companiile de electricitate au fost obligate să cumpere energia producătorilor independenţi (IPP - Independent Power Producers) prin intermediul Agenţiei de Procurare (PA -

Purchasing Agency). Apar elemente ale unei pieţe en-gros a energiei electrice, deşi compania de electricitate este mai degrabă client decât concurent al IPP-ului, cel mai adesea producător de energie regenerabilă.

Schimbarea radicală se produce însă în Anglia la sfârşitul deceniului opt şi se extinde cu repreziciune în toată lumea. Prin decizie politică, puternica companie de stat CEGB este "demontată" în trei societăţi de producere şi una de transport.

Se constituie o piaţă "spot" a energiei (pool) şi se neagă necesitatea funcţionării sistemului energetic ca serviciu public. În loc de a controla "justeţea" preţurilor sau securitatea alimentării cu energie în viitor, puterea publică veghează ca piaţa să nu fie distorsionată şi-i corijează continuu imperfecţiunile. Securitatea alimentării este asigurată de forţele pieţei.

Elementul esenţial al pieţei este accesul la reţea, în condiţii prestabilite, al consumatorilor de energie (deocamdată) cu puteri de cel puţin 100 kW. Este ceea ce astăzi se cheamă o **re-reglementare** a sectorului alimentării cu energie.

Societăţile de distribuţie şi consumatorii cu puteri mai mari de 100 kW pot încheia contracte cu societăţile producătoare sau cu IPP-urile. Preţurile en-gros se stabilesc prin licitaţie. În fiecare zi, producătorii - inclusiv EdF şi cei din Scoţia - îşi prezintă ofertele cantitative şi de preţ pentru ziua următoare. Preţul se recalculează cu ajutorul unui sistem informaţional modern la fiecare jumătate de oră pe baza costurilor marginale.

Preţul pieţei are o altă formulă:

$$p - c \Rightarrow r$$

în care rata de recuperare a capitalului investit nu mai reprezintă o certitudine, iar producătorii sunt puternic motivaţi pentru reducerea costurilor.

Producătorii sunt plătiţi şi pentru puterea pe care o ţin în rezervă.

Piaţa electricităţii este operată de către National Grid, compania de transport.

Un proces similar de transformare se petrece în SUA, cu final încă imprevizibil. Comisia de reglementare federală (FERC) a emis Nota pentru propunerea de legiferare (NOPR - Notice of Proposed Rulemaking). Nota admite accesul nediscriminatoriu la reţelele de transport (wholesale wheeling) şi de distribuţie (retail wheeling) şi se aplică deja în din ce în ce mai multe state.

În esenţă, soluţia engleză şi variantele sale duce la următoarele rezultate:

- demontarea (demantelarea) societăţii integrate;
- o societate independentă de transport, monopol public sau privat, organizator al pieţei energiei electrice;
- competiţie în producerea energiei;
- competiţie în distribuţia (vânzarea) energiei;
- eliminarea statului din gestiunea şi managementul acestei activităţi.

4. Cumpărătorul unic sau încercarea de compromis

Inspirându-se din statutul Agenţiei de Procurare (PA), cu intenţia vădită de a imprima o nuanţă proprie mersului ireversibil spre competiţie, EdF propune în octombrie 1994 modelul "cumpărătorului unic" - CU. Soluţia are menirea să armonizeze conceptul de serviciu public cu principiul concureţei, promiţând totodată coerenţa în planificare şi tarife uniforme în teritoriu.

Cumpărătorul unic (CU) în viziune franceză este managerul reţelei de transport a companiei dominante. Acesta achiziţionează energia prin licitaţie şi are **obligaţia** de a o revinde la acelaşi preţ "consumatorului eligibil" (CE) - distribuitor sau mare consumator. CU este responsabil cu planificarea centralelor şi a reţelei de transport, cu "cumpărarea de capacităţi de producţie" sau cu contractarea de energie pe termen lung, cu conducerea sistemului pe baza ordinii de merit şi cu managementul circulaţiilor de puteri în reţea.

Comisia Europeană şi-a dat în principiu acordul pentru aplicarea unei astfel de idei (în fapt un monopol al achiziţiei de energie), în condiţiile în care CU garantează transparenţa preţului de transport, nediscriminarea şi dreptul CE de a negocia contracte în exterior.

Există însă opinia, larg împărtăşită, că modelul CU este fundamental incompatibil cu principiul accesului terţilor la reţea, restricţionează inadmisibil concurenţa şi intră in conflict chiar cu tratatul Cartei Europene [13].

Controversa, departe de a fi încheiată, este alimentată de neclarităţi în ceea ce priveşte definirea CE, IPP, a criteriilor de acceptare sau de refuz, a limitărilor cantitative etc.

5. Contextul actual românesc

Obiectivele generale ale politicii energiei, şi anume: a) securitate în alimentare cu combustibil, b) preţ raţional al energiei, care să asigure o rată sănătoasă de autofinanţare şi c) impact acceptabil asupra mediului înconjurator, se pun la noi într-un context specific. Sectorul energiei din România se

confruntă cu o degradare a bazei de combustibili şi cu nevoi mari de resurse financiare. Investiţiile neterminate, începute înainte de anul 1990, necesită peste 7500 miliarde lei, iar pentru modernizarea echipamentului existent, ineficient şi poluant, nevoile sunt şi mai mari. Randamentul net care se înregistreaza la producerea de energie electrică pe cărbune abia depăşeşte 26%, la producerea pe hidrocarburi este de circa 36%, faţă de 45-55% cât realizează centralele electrice moderne pe combustibili fosili. În perspectiva aderării la Uniunea Europeană, centralele electrice care nu îndeplinesc normele de impact asupra mediului reprezintă un obstacol potenţial.

Prioritatea întâi, retehnologizarea, nu poate fi concepută fără finanţare externă şi fără participarea masivă a capitalului particular. Este, de altfel, şi opinia guvernului. Iar acest aport necesar de capital, s-a demonstrat pretutindeni, este cronologic ultima etapă **într-o succesiune care cuprinde restructurarea (profundă), introducerea competiţiei (privatizarea), practicarea de preţuri reale.**

Dacă această industrie este exploatată ca un serviciu social, este de aşteptat ca finanţarea să fie insuficientă. Axarea politicii energiei pe conceptul de serviciu public ar putea să nu fie o soluţie productivă pentru ţara noastră, ca şi bazarea ei pe decizii guvernamentale şi nu pe o legislaţie stabilă, capabilă să ofere încredere investitorilor.

România nu-şi poate permite să se limiteze la modelul "ortodox" de tip EdF. Această companie produce 97% din energie din surse nucleare şi hidroelectrice şi-şi asigură cu relativă uşurinţă nevoile de capital şi de tehnologie.

Evident, în drumul spre un model al pieţei energiei, singurul capabil să atragă resursele necesare, ţara noastră nu poate sări peste etape. Nu este Anglia nici în ceea ce priveşte mijloacele financiare, care au facilitat privatizarea rapidă, şi cu atât mai puţin în ceea ce priveşte cultura economică de piaţă. Se spune pe bună dreptate că România trebuie să-şi inventeze propria sa cale de evoluţie şi de reglementare, adecvată culturii şi condiţiilor economice, tehnice şi legislative naţionale.

6. În loc de concluzii sau elemente vizând legea energiei

Pe această direcţie a transformărilor către competiţie şi piaţă există deja câteva soluţii a căror oportunitate şi eficienţă a fost deja demonstrată. Acestea sunt:

- sistem managerial suplu şi "plat" (fără ierarhie grea), focalizat pe aplicarea principiului subsidiarităţii, menit să faciliteze transformările;
- sistem de transport al energiei electrice independent, viitor sediu al pieţei energiei. Desprinderea de sistemul de producţie va pune desigur cele mai grele probleme tehnice în acest proces de tranziţie;
- prioritate pe realizarea competiţiei în producerea de energie. Numărul de competitori nu are prea mare importanţă.

În SUA sunt numai două partide politice şi totuşi această ţară este un model al democraţiei.

Dimensiunea optimă a unei companii de electricitate, de producere sau de distribuire a energiei, nu este încă demonstrată. În Irlanda de Nord fiecare centrală electrică are propriul proprietar! Nu este clar nici ce reprezintă de fapt un producător independent de energie. De pildă, National Power din Anglia cu peste 30 000 MW instalaţi este astăzi considerată un IPP, cel mai mare din lume.

- Deşi adevărată competiţie apare atunci când consumatorul-client poate alege liber furnizorul, într-o primă etapă acest rol poate fi îndeplinit, cu unele excepţii, de către companiile de distribuţie. Societăţile de distribuţie găsesc un mediu favorabil de dezvoltare pe plan local în cadrul unei aşa-numite planificări "integrate" a energiei (de toate formele), beneficiind de susţinere directă din partea autorităţilor, băncilor, întreprinzătorilor. Tarifarea se poate adapta nevoilor administraţiei locale în scopul sprijinirii unor anumite categorii de utilizatori de energie.
- În România, accesul liber al terţilor la reţelele de transport şi de distribuţie a energiei electrice, prevedere importantă a Tratatului Cărţii Europene a Energiei [8], este un deziderat realizabil doar pe termen mediu - lung. Aşa cum am arătat în altă parte [15] TPA ascunde ameninţări serioase pentru un sistem electroenergetic care prezintă vulnerabilităţi. În plus, aplicarea TPA, chiar în versiune "negociată", implică cheltuieli greu de suportat acum.
- Soluţia de "cumpărător unic" nu poate reprezenta o structură "ţintă", întrucât s-a recunoscut faptul că, favorizând compania dominantă, distorsionează competiţia.

Acest model poate fi avut în vedere ca etapă intermediară de trecere de la organizarea (planificarea) centralizată la economia de piaţă.

Independenţa CU trebuie garantată, astfel încât producătorii publici şi particulari să se bucure de un tratament corect, nediscriminatoriu. Imaginea

companiei publice, cu acces la punga publică şi deci mai puţin interesată de profit, constituie un obstacol în procesul transformării. Este cunoscut faptul că echitatea tarifară se poate realiza şi prin alte pârghii, de natură economică.

- Autoritatea publică îşi va păstra, desigur, responsabilitatea în domeniul energiei în aceşti ani "fragili". În orice caz, reglementările referitoare la preţuri, investiţii, contracte de furnizare, aspecte tehnice şi de mediu înconjurător, sunt de competenţa unui organism de profil, neimplicat în funcţii comerciale. Ulterior, este de aşteptat ca aceste reglementări să-şi schimbe conţinutul, limitându-se la cadrul general de organizare a pieţei energiei, promovarea pieţei de capital şi a eficienţei energiei, definirea condiţiilor de mediu şi de securitate.

BIBLIOGRAFIE

[1] x x x *Memoriul APDE asupra "Orientărilor generale pentru alcătuirea unui plan economic"* publicate de Consiliul Superior Economic. In: Bul. APDE nov/dec.1938, pag.270-291.

[2] APDE - *Statistica uzinelor electrice din România,* Sibiu, 1939

[3] Budeanu, C.I. *Asupra politicei şi legislaţiunei energetice din România* . In: Bul. IRE, Anul II, nr.2

[4] Dachler, S. *Studii asupra mijloacelor şi căilor pentru ridicarea electrificării naţionale, în legătură cu modificarea Legii Energiei*. In: Bul. APDE nov./dec. 1936 - I, pag.188-190.

[5] Soc."Electrica" şi Soc."Lignitul", *Sugestiuni în legătură cu modificarea Legii Energiei*. In: Bul. APDE nov./dec. 1936 - I, pag.199-205.

[6] Leonida, D . *Păreri relative la "Orientări generale..."* . In: Bul. APDE nov./dec.1938, pag.295-300

[7] Bossard Consultants, EdF, RENEL-Corporate Restructuring Study, iunie 1992.

[8] * * * *Carta Europeană a Energiei.* În: ENERG, nr.10, 1996.

[9] . *Legea energiei electrice şi termice* (proiect), ianuarie 1996.

[10] Horvath, St. J. *Restructuring: The Key to Unlocking Financial Opportunities*, Third Annual US/Eastern Europe / Former Soviet Union Electric Power Technologies Conference, Bucharest, April 1995.

[11] Velody, M. *The RENEL Diamond.* In: Energetica 3B, mai / iunie 1995

[12] Casazza, J. A. *Electric Policy Issues - The Effects of Various Institutional Arrangements in Different Nations*, A Presentation in Bucharest, Sept.1995.

[13] Poster, D. *A Single Market or a Single Buyer.* Europower, Summer 1995

[14] Smith, D. J. *Private Ownership of Electric Power is More Efficient and Reliable than Public-owned Plants.* In: Power Engineering International, March/April 1995

[15] Constantinescu, J., Neagu,V. *Accesul terţilor la reţea (TPA) în condiţiile sistemului energetic al României.* In: Energetica 3B, mai/iunie 1995

Informaţii

(continuare din pag.114)

Semnificaţia specială a cercetării în prezent în proiectarea şi funcţionarea centralelor electrice

Obiectivele principale ale operatorilor şi constructorilor de centrale electrice sunt: siguranţa, preţul convenabil şi impactul redus asupra mediului ambiant. Aceleaşi sarcini le au şi oamenii de ştiinţă. Există totuşi o contradicţie între obiectivele cercetării-dezvoltării pe termen lung şi problemele specifice de zi cu zi.

Alegerea unui proiect de cercetare şi stabilirea implicaţiilor sale în diferite sectoare de cercetare este de mare importanţă. Statul, ca reprezentant al publicului larg a avut până acum o motivaţie puternică în susţinerea proiectelor de cercetare importante în domeniul tehnologiei centralelor electrice. Acest lucru este valabil, în principal, în cazul în care se evaluează că riscul ştiinţific, tehnic şi economic este foarte ridicat şi în care fondurile necesare sunt foarte mari.

Sarcinile viitoare ale domeniilor esenţiale ale cercetării la scară mare ar putea fi exprimate pe scurt sub titlul "optimizarea sistemului de alimentare cu energie". Problema resurselor în anii viitori nu va mai avea aceeaşi importanţă ca în trecut. Cel puţin aceeaşi importanţă o vor avea: disponibilitatea şi siguranţa instalaţiilor, interschimbabilitatea componentelor, transportul şi stocarea energiei.

Cercetarea la scară largă va fi în principal angajată cu analizele de sistem. Astfel, o evaluare a diferitelor sisteme de producere a energiei cu referire la compatibilitatea lor cu mediul ambiant va reprezenta cu certitudine un domeniu important al cercetării. De exemplu, oamenii de ştiinţă subliniază faptul că întregul debit masic care rezultă din procesele de ardere trebuie să fie reevaluat. În ultimii ani cercetările au fost dirijate în principal către gazele poluante SO_2 şi NO_x, care reprezintă un procent redus raportat la debitul masic total dintr-o centrală electrică.

Proporţiile CO_2 şi ale substanţelor solide (cenuşa, de exemplu) sunt mult mai mari. Sarcina viitorului este să creeze un circuit închis, care să evite emisiile necontrolate.

O astfel de filozofie fac specialiştii germani şi cu energia nucleară. Ei se referă la dezvoltarea reactoarelor cu apă uşoară, la reactoare avansate, ingineria siguranţei reactorului şi la ciclul combustibilului.

În Germania cercetarea la scară mare este susţinută de guvernul federal.

(continuare în pag. 129)

PRINCIPII ŞI ASPECTE CARE TREBUIE AVUTE ÎN VEDERE ÎNTR-UN PROIECT DE LEGE A ENERGIEI

ing. GHEORGHE INDRE *

Lucrarea este o evidenţiere a unor elemente de ordin juridic, care trebuie considerate în încercarea de a elabora un proiect al energiei electrice şi termice. Sunt inventariate principale surse de drept internaţional ce trebuie avute în vedere şi preocuparea de circumscriere corectă a prevederilor legii în cadrul legislativ şi normativ românesc. Sunt, de asemenea, enumerate câteva din aspectele care trebuie reglementate prin legea energiei electrice şi termice, accentuându-se necesitatea stabilirii unui cadru transparent şi eficient de reglementare a activităţilor sectorului, dat fiind caracterul de monopol al organizării industriei energiei electrice şi termice.

The paper presents certain judicial elements that must be considered when elaborating the electricity and thermal power law project. There are inventoried the main international law sources that must be taken into consideration and the concern of correctly adapting the law provisions to the Romanian legislation. There are also presented several aspects that must be regulated by the electricity and thermal power law, focusing on this sector transparent and effcient management, given the monopoly of electricity and thermal power industry organization.

Introducere

Elaborarea unei reglementări cu caracter de lege într-un domeniu de importanţă vitală pentru existenţa şi viitorul unei ţări, cum este producţia de energie electrică şi termică, este un proces iterativ de mare complexitate, care necesită o abordare sistematică şi foarte bine pregătită din punctul de vedere al documentării şi înţelegerii fenomenelor şi aspectelor care trebuie reglementate.

Trebuie în acest sens analizate şi corect soluţionate aspecte de o mare diversitate de conţinut cum sunt:

- aspecte de ordin tehnic, legate de fizica fenomenelor implicate în producerea, transportul şi distribuţia energiei electrice şi termice;
- aspecte de ordin social, legate de importanţa energiei electrice şi termice pentru viaţa omului contemporan atât din punctul de vedere al utilităţii, cât şi din punctul de vedere al influenţelor asupra mediului înconjurător;
- aspecte de ordin economic, legate de necesitatea gospodăririi şi prezervării resurselor limitate ale planetei şi de eficientizarea tuturor formelor de utilizare;
- aspecte de ordin juridic, legate de necesitatea reglementării pe baze legale şi echitabile a tuturor relaţiilor dintre partenerii din sectorul energiei electrice.

În prezentul articol sunt exprimate câteva opinii referitoare la aceste probleme, în încercarea de a contribui la sensibilizarea specialiştilor din domeniu faţă de importanţa deosebită pe care o au.

1. Principii de bază care se cer considerate pentru elaborarea legislaţiei în domeniul energiei electrice şi termice

Primul principiu se referă la încadrarea corectă a noii legi în cadrul juridic existent, adică în sistemul de drept în care evoluează participanţii la activităţile economice (întreprinzători şi patroni, lucrători şi consumatori). In acest sens considerăm că trebuie avut în vedere cadrul unei economii de piaţă aflată în plin proces de definire, specific ţării noastre pentru această perioadă.

Al doilea principiu este conştientizarea de către elaboratori a faptului că legea se va constitui într-un element al dreptului pozitiv românesc, înţelegând prin noţiunea de drept pozitiv ansamblul regulilor sociale decise şi impuse membrilor societăţii din zilele noastre, ca reguli de

* RENEL - Direcţia Strategie Planificare

comportament, după care se conduce viaţa în societate şi care sunt aprobate (sancţionate) de puterea publică prin organismele ei. Din punctul de vedere al teoriei dreptului legea este o regulă de drept generală, impersonală, scrisă, emisă de o autoritate publică, care în cazul legii energiei electrice şi termice este Parlamentul României.

Pentru redactarea unui text de lege se impune ca un al treilea principiu important considerarea caracteristicilor specifice privind dreptul colectivităţii în care legea va acţiona, ţinând cont de faptul că sursele dreptului ca ansamblu de reglementări depind foarte mult de specificul ţării, de evoluţia istorică a relaţiilor sociale şi a instituţiilor în ţara respectivă. Este important să se înţeleagă rolul dreptului pentru funcţionarea economiei unei ţări, în special economia de piaţă, şi misiunea pe care dreptul o are de a fixa un cadru normativ, adică de a impune o normă.

Dacă ştiinţele economice şi ştiinţele naturale au un caracter preponderent descriptiv şi explicativ, dreptul, prin funcţia sa normativă, trebuie să stabilească regulile jocului pentru desfăşurarea cât mai eficientă a proceselor economice şi să permită alegerea soluţiilor de desfăşurare a activităţii economice, pe baza unor norme încorporate într-o reglementare juridică. Pentru acest scop s-au dezvoltat ramuri specifice ale dreptului, cum sunt, dreptul contabil, dreptul referitor la brevete, mărci, protecţia proprietăţii intelectuale, dreptul referitor la concurenţă, dreptul bancar etc.

Pentru încadrarea legii energiei electrice şi termice în sistemul de drept existent trebuie avută în vedere ca problemă de principiu analiza surselor de drept, distingând aici două categorii de surse şi anume:

a) **Surse naţionale**, care sunt surse de origine internă, legate de o anumită organizare de stat, sau surse tot de origine internă, care nu sunt dependente de organizarea statală.

Principalele surse de origine internă cu caracter statal sunt legile. O lege poate să fie imperativă, adică să dispună sau să interzică ceva fără a exista posibilitatea de a evita aceste dispoziţii, sau supletivă, în care caz dispoziţiile legii se aplică în măsura în care părţile nu stabilesc altfel prin actele pe care le încheie.

Ca sursă de origine internă, care nu depinde organizarea statală, menţionăm cutuma care reprezintă o regulă de drept nescrisă, ce se formează prin repetare şi nu primeşte statutul de cutumă decât dacă grupul uman (societatea) consideră violarea ei ca manifestare a nerespectării unei reguli de drept. Pentru ilustrare poate fi dat un exemplu din practicile încetăţenite în materie de distribuire a mărfurilor şi bunurilor unde există practica ca furnizorul să nu fie plătit decât la "x" zile după livrarea mărfii. Pentru furniturile de volum mare această întârziere este de 90 zile.Dacă contractul nu spune nimic se poate considera în mod normal (fără a putea dovedi) că plata se va face la 90 zile.

O altă sursă de drept intern cu caracter nestatal o reprezintă jurisprudenţa, care înglobează ansamblul deciziilor pe care judecătorii le-au dat în cauzele pe care le-au examinat. Se poate estima că jurisprudenţa are un rol creator de drept, deoarece deciziile date de Tribunalul Suprem şi Curtea Constituţională, unifică interpretarea regulilor, ceea ce impune o practică conformă acestei interpretări.

Prevederile contractuale, care sunt reguli stabilite între părţi la un contract încheiat între ele ca rezultat al unui proces de negociere, sunt de asemenea posibile surse de drept, deşi de regulă ele stabilesc o "lege" care nu se aplică decât părţilor contractante.

b) **Sursele internaţionale** de drept reprezintă regulile elaborate în cadrul suprastatal, care depăşeşte cadrul de stat. Din această categorie menţionăm următoarele:

Tratatele sau Convenţiile internaţionale, care sunt acorduri încheiate între două (tratate bilaterale) sau mai multe (tratate multilaterale) state şi care au ca obiect crearea unei reguli de drept internaţional public sau privat sau unificarea dreptului intern al statelor care ratifică aceste tratate şi convenţii. Un exemplu îi constituie Dreptul comunitar, care este constituit de ansamblul regulilor ce organizează Uniunea Europeană (adică Tratatul de la Roma din 1957, Actul Unic din 1985 şi Tratatul de la Maastricht 1991). La fel de importante sunt regulile ce rezultă ca urmare a hotărârilor organismelor comunitare, cum este, de exemplu, Parlamentul European de la Strasbourg. Această organizare a creat, bineînţeles, şi Curtea de Justiţie a Comunităţii Europene, denumită şi Curtea de la Luxembourg.

Regulile comunitare sunt şi ele de două feluri:

- reglementări, care sunt reguli direct aplicabile statelor membre;
- directive, care sunt reguli obligatorii, dar se analizează ca un ordin adresat statelor membre pentru ca să-şi modifice normele interne de drept pentru a le pune în acord cu conţinutul directivei care este întotdeauna minimal.

Jurisprudenţa internaţională poate fi şi ea o sursă de drept în cazul în care există curţi internaţionale de justiţie cu regim permanent cum sunt Curtea Internaţională de justiţie, pentru jurisdicţia internaţională de drept public instaurată prin Carta Naţiunilor Unite, şi Curtea de justiţie a Comunităţii Europene, instaurată prin Tratatul de la Roma din 1957.

Jurisprudenţa internaţională poate fi şi privată pentru cadrul judiciar al relaţiilor contractuale, adică pentru arbitraj. Pot exista organisme permanente de arbitraj, cum este Curtea de arbitraj a camerei de comerţ internaţional.

Cutuma poate de asemenea şi în materie de drept internaţional să fie o sursă de drept, ca şi practicile la care se face referinţă în numeroase contracte internaţionale, cum sunt regulile internaţionale privind interpretarea termenilor comerciali ca FOB, CAF etc.).

Ca ultimă sursă internaţională se mai pot menţiona stipulările contractuale, care, ca şi-n cazul dreptului intern, reprezintă o sursă de drept.

Un alt principiu necesar pentru elaborarea legii este acela al ierarhiei, normelor de drept. După inventarierea ansamblului surselor de drept trebuie stabilită o ierarhie deoarece acestea nu au toate aceeaşi autoritate.

Ierarhizarea normelor scrise se poate reprezenta schematic ca în figura 1.*

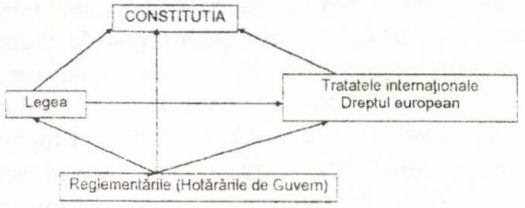


Fig. 1.

Săgeţile indică faptul că norma respectivă trebuie să fie conformă cu normele indicate de săgeţi. Această ierarhie este reprezentată mai sugestiv în figura 2.

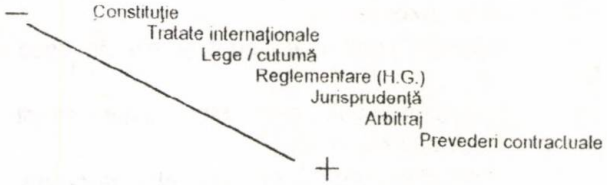


Fig.2

* GI - CONF.DOC/IG.EP/04/96

2. Aspecte principale a căror tratare este necesară în legea energiei electrice şi termice

În prezentul capitol se enumeră principalele probleme care, după părerea noastră, trebuie clarificate şi reglementate prin legea energiei electrice şi termice, fără a se detalia modalităţile posibile de tratare a lor.

Vom sugera, însă numai ca un suport de discuţie, o posibilă rezolvare, bineînţeles susceptibilă de îmbunătăţiri, cu atât mai mult cu cât tratarea propusă nu este întotdeauna identică cu modul de rezolvare a problemei în textul proiectului de lege.

În baza consideraţiilor de mai sus putem identifica următoarele categorii de probleme:

- precizarea formelor de proprietate asupra bunurilor care concură la producerea, transportul şi distribuţia energiei electrice şi termice;
- definirea agenţiilor economici care activează în sectorul energiei electrice şi termice;
- definirea statutului juridic şi a formelor legale de organizare a agenţilor economici din sectorul energiei electrice şi termice;
- precizarea posibilităţilor de investire pentru investitorii români şi străini;
- regimul juridic al exploatării instalaţiilor de producere, transport şi distribuţie a energiei electrice şi termice;
- reglementarea activităţilor cu caracter de monopol natural din cadrul sectorului energiei electrice şi termice;
- planificarea dezvoltării sectorului energiei electrice şi termice;
- modalităţile de soluţionare a accesului terţilor la reţelele de transport şi distribuţie;
- cerinţele privind tarifarea energiei electrice şi termice şi regulile comerciale privind relaţiile dintre furnizor şi consumator;
- problematica legată de protecţia mediului înconjurător.

Dintre aspectele formulate mai sus esenţial şi de mare importanţă este acela al reglementării de către stat a activităţii sectorului energiei electrice şi termice.

Prin conţinutul ei o lege a energiei trebuie să definească cu claritate cadrul de reglementare care să delimiteze responsabilităţile agenţilor economici şi ale instituţiilor care activează în cadrul sectorului. Elementele de bază ale cadrului de reglementare sunt:

- formularea şi implementarea politicii Guvernului în domeniul energiei electrice şi termice corespunzător politicii energetice generale;

- reglementarea, din punct de vedere economic, a modului de stabilire a preţurilor la energia electrică şi termică;

- supravegherea activităţii întreprinderii de electricitate, cu luarea în considerare a influenţei activităţii asupra acţionarilor, în cazul în care aceştia există.

În legătură cu reglementarea, legea trebuie să stabilească care componente ale sectorului energiei electrice trebuie să aibă preţuri reglementate, să stabilească legăturile între politica ţării şi structura modului de reglementare şi să definească cine răspunde şi realizează reglementarea activităţilor industriale cu caracter de monopol.

Textul de lege trebuie să definească rolul statului în cadrul activităţii sectorului atât în ceea ce priveşte elaborarea politicilor de urmat, cât şi în desfăşurarea activităţilor de reglementare. Prin activitatea sa în scopul eficientizării activităţii economice din sector statul trebuie să asigure un echilibru între reglementare şi competiţie, prin instituirea unei metode de reglementare transparente şi definirea condiţiilor de autorizare a agenţilor economici care activează în cadrul sectorului.

Se pot detalia similar toate aspectele menţionate, unele dintre ele fiind de o complexitate atât de mare încât sunt reglementate prin legi speciale, cum sunt acelea ale planificării, dezvoltării sectorului energiei, care în legislaţia portugheză se desfăşoară în baza unei legi speciale acestui domeniu.

Concluzii

Prezentul material ilustrează succint câteva din principiile ce trebuie avute în vedere la elaborarea unei legi a energiei şi enunţă o serie de aspecte care considerăm că trebuie reglementate prin legea energiei.

Analiza documentară realizată de comisia din cadrul RENEL, care a lucrat la elaborarea proiectului legii energiei, a pus în evidenţă o mare diversitate de abordări ale legii energiei, legate de specificul ţărilor ale căror legi au fost studiate, de programele politice, obiectivele şi principiile considerate în elaborarea acestor legi.

În acest sens se poate evidenţia faptul că numai după precizarea clară a direcţiilor de evoluţie a economiei ţării, a principiilor de organizare a relaţiilor economice şi a structurilor de organizare a sectorului energiei se poate defini cu precizie textul legii energiei electrice şi termice.

Din cele afirmate anterior rezultă că, în afara aspectelor tehnice legate de specificul activităţilor economice din cadrul sectorului şi a principiilor de ordin juridic, legea energiei electrice şi termice depinde de exprimarea voinţei politice a autorităţii legiuitoare, care trebuie definită cu multă claritate.

BIBLIOGRAFIE

[1] Raynouard, A. *Le cadre juridique dans les pays a economie de marché*, l'Institute Française de Gestion, novembre 1994

x x x Diario da Republica - I-serie - A no.172-27-7-1995 - Portugalia

Informaţii

(continuare din pag.125)

Aceasta se face:

- în universităţi, colegii, facultăţi, în mod descentralizat; proiectele de cercetare sunt sponsorizate;
- în institutele de cercetare comerciale care lucrează exclusiv pe bază de proiecte de cercetare comandate;
- de către echipele de cercetare ale institutelor individuale cu diverse structuri care lucrează la proiecte individuale (parţiale), al cărui program întreg, de regulă, este suportat de comitetele de conducere (steering commitees) ale agenţiilor financiare;
- de către echipele de cercetare care îşi concentrează activitatea în anumite domenii de importanţă esenţială.

Se efectuează lucrări şi în instituţii de cercetare mari, de exemplu la centrele statale de cercetare nucleare şi de asemenea la staţiile/ laboratoarele de cercetare ale guvernului federal sau ale guvernelor landurilor.

Aspectele comerciale domină în executarea activităţilor de cercetare de către companiile de fabricaţie individuale pentru întreţinerea şi dezvoltarea know-how-ului specific companiei.

Multe probleme ştiinţifice, din cauza importanţei lor majore sau costului foarte ridicat, se rezolvă de către un consorţiu constituit din câteva părţi interesate .

În plus, când se evaluează cât este de adecvat un program de cercetare, inevitabilele opinii exprimate de un număr mare de experţi sunt mai importante dacă nu sunt restricţionate de posibilităţile unei întreprinderi individuale.

Rezultate bune apar dacă discuţiile au loc în consilii ştiinţifice. Cu ajutorul lor se poate obţine o cantitate maximă de informaţii, care pot da greutate programelor de cercetare şi astfel poate fi asigurată utilitatea lor generală.

continuare în pag. 145)

PROBLEMELE ACTUALE PRIVIND RELAŢIILE FURNIZORULUI DE ENERGIE ELECTRICĂ CU CONSUMATORII ÎN ECONOMIA DE PIAŢĂ

prof. dr. ing. ION IORDĂNESCU *

În primul capitol al articolului se prezintă condiţiile apariţiei unor relaţii reciproce între consumatori şi furnizori şi în domeniul electroenergetic, datorită cerinţelor şi obligaţiilor fiecăreia din cele două părţi în procesul de alimentare cu energie electrică. În cel de-al doilea capitol se redau principalele influenţe negative care s-au manifestat asupra formării şi dezvoltării sitemului electroenergetic, precum şi asupra relaţiilor furnizor-consumator, în perioada conducerii supercentralizate a tuturor sectoarelor economiei naţionale. În ultimul capitol, prezentându-se principalele caracteristici ale organizării vieţii social - economice corespunzător legilor economiei de piaţă, se accentuează importanţa deosebită şi atenţia care trebuie acordată adaptării într-un timp cât mai scurt a relaţiilor furnizor-consumator la noile cerinţe, punând accentul pe conştientizarea şi schimbarea mentalităţii marii mulţimi a patronilor întreprinderilor mici şi mijlocii, în scopul gospodăririi raţionale a energiei electrice.

The first section of the paper presents the proper conditions for initiating some mutual relations between end-users and suppliers in the electricity field, based on demands and duties of the two parts in the electricity supply process.

The second section presents the main negative influences upon the electricity system formation and development and upon the supplier - end-user relations during the ex- super-centralized leadership in all the national economic sectors.

Besides the main characteristics of the market economy social life organization, the last section of the paper also presents the utmost importance and the attention attached to adapting the relations between the supplier and end-user to the new requirements, focusing on the mentality change of the small and medium companies owners for a rational electricity management.

Aspecte generale

În cadrul activităţii umane desfăşurate în diferite domenii social-economice, la care participă doi sau mai mulţi parteneri, reprezentaţi prin persoane fizice sau prin colective aparţinând diferitelor unităţi comerciale sau economice, apar şi se stabilesc o serie de relaţii reciproce, care reglementează cadrul şi modul de desfăşurare a activităţilor respective. Un astfel de domeniu cu implicaţii deosebite în viaţa social-economică naţională îl constituie şi sectorul energetic, care asigură energia electrică necesară desfăşurării oricărei activităţi umane, începând cu cea din gospodăria proprie şi până la cea necesară unităţilor economice. Participanţii la procesul de alimentare cu energie electrică se împart în două categorii, care colaborează între ele, şi anume: furnizorii de energie electrică şi consumatorii. Între aceste două părţi se stabileşte un sistem de relaţii, concretizate prin cerinţele şi obligaţiile fiecăreia faţă de cealaltă. Obiectivul de bază al acestor relaţii îl constituie condiţiile în care se desfăşoară şi se asigură furnizarea energiei electrice cerute de fiecare consumator, de către unităţile de specialitate furnizoare. Cerinţele de bază sunt cantitatea şi calitatea energiei electrice şi faţă de acestea, fiecare din cele două părţi se situează pe poziţii proprii, care trebuie apropiate în vederea soluţionării optime a neconcordanţelor.

Solicitarea acestor mărimi de către consumatorii de energie electrică, pe de o parte, şi

* Facultatea de Energetică Universitatea - "Politehnica" Bucureşti

posibilităţile de asigurare de către unităţile furnizoare, pe de altă parte, duce la necesitatea stabilirii unor relaţii directe între cele două părţi. În funcţie de scopul urmărit şi de importanţa pe care o prezintă sub aspect tehnico-economic fiecare dintre mărimile în discuţie, fiecare parte îşi susţine poziţia respectivă, stabilindu-se în final, pe baza justificărilor şi argumentelor prezentate, o poziţie comună, în vederea întocmirii documentaţiilor tehnice şi realizării instalaţiilor corespunzătoare. Aceste relaţii sunt însă dominate, pe lângă aspectele tehnico-economice de specialitate, şi de alte situaţii şi fenomene sociale şi politice exterioare lor.

În acest sens se poate remarca şi în ţara noastră etapa de circa patru decenii înainte de 1989, când economia s-a dezvoltat după principii total diferite de economia de piaţă, exercitând influenţe negative şi asupra dezvoltării sistemului energetic.

1. Principalele caracteristici ale relaţiilor între consumatorii şi furnizorii de energie electrică în condiţiile dezvoltării centralizate a economiei

Pentru a înţelege care au fost relaţiile dintre consumatorii şi furnizorii de energie electrică în toată această perioadă, este necesar să reamintim unele condiţii şi caracteristici ale dezvoltării social-economice, care au furnizat şi au constituit elementele de orientare în dezvoltarea sistemului energetic. Principiul de bază l-a constituit realizarea şi dezvoltarea cu prioritate a industriei în toate domeniile economiei şi în primul rând a industriei constructoare de maşini. Industrializarea masivă şi conducerea hipercentralizată a întregii economii naţionale s-a reflectat şi asupra sectorului energetic, care trebuia să asigure alimentarea cu energie electrică a tuturor consumatorilor care apăreau în aceste circumstanţe, influenţând negativ, prin luarea în considerare a tuturor cerinţelor, de cele mai multe ori exagerate, relaţiile între consumatorii respectivi şi furnizorii energiei electrice. O primă influenţă negativă s-a datorat, în general, măsurii luate de a se realiza întreprinderi mari şi foarte mari, supradimensionate din punct de vedere tehnologic, care solicitau, în perioada de proiectare, puteri mari şi cantităţi mari de energie electrică şi care, după intrarea în funcţiune erau realizate în proporţii de sub 50 %, rezultând astfel un grad de încărcare foarte redus pentru liniile electrice, pentru staţiile şi posturile de transformare.

De asemenea, funcţionarea în condiţii de randament necorespunzător a întreprinderilor a dus la realizarea de consumuri specifice foarte mari, depăşind în multe cazuri consumurile specifice din ţările industrializate. Un dezavantaj suplimentar foarte important l-a constituit dezvoltarea pe scară largă a întreprinderilor mari energofage, solicitând mari cantităţi de energie electrică, utilizată foarte ineficient. Dificultăţi importante, reflectate puternic în relaţiile consumator-furnizor au apărut şi datorită faptului că energia electrică consumată în industrie era foarte ieftină, statul preluând prin subvenţionare diferenţele mari până la preţul de cost real, ceea ce făcea ca ponderea costului energiei electrice în cheltuielile totale ale întreprinderilor să fie foarte mică (până la 10 %) din care cauză consumatorii nu aveau interes pentru gospodărirea raţională a energiei electrice, risipa de energie fiind foarte mare. De asemenea, problema privind siguranţa în funcţionare, respectiv continuitatea în alimentare realizată printr-un mare număr sporit de căi de alimentare cu capacitate mare de vehiculare a energiei electrice, a dus într-un număr mare de cazuri la realizarea suplimentară a unor instalaţii electroenergetice şi de automatizare, care după punerea în funcţiune s-au dovedit mult supradimensionate. Se menţionează şi influenţa negativă pe care a avut-o în multe cazuri amplasarea arbitrară a marilor consumatori, nejustificată, atât prin absenţa materiilor prime, cât şi prin lipsa pieţei de desfacere. Aceste amplasamente pentru marile combinate industriale în locuri uneori excentrice ale sistemului energetic şi supraaprecierea puterilor şi energiilor necesare, au dus la orientarea liniilor electrice de înaltă şi foarte înaltă tensiune, de multe ori supradimensionate, şi a unor staţii de transformare similare cu precădere către zonele şi centrele respective, şi mai puţin spre zonele rurale, slab dezvoltate în perioada respectivă. Toate situaţiile menţionate, ca şi multe altele, au făcut ca pe toată perioada menţionată, de circa 40 ani, până în decembrie 1989, relaţiile consumator-furnizor să fie afectate, datorită importanţei cu totul secundare atribuită artificial energiei electrice în întreprinderile consumatoare, precum şi absenţei totale a unor stimulente sau penalizări pentru consumatori în vederea gospodăririi raţionale a energiei.

2. Relaţiile consumatori-furnizori de energie electrică în ţara noastră în condiţiile economiei de piaţă

Pincipiile care acţionează în cadrul economiei de piaţă către care se îndreaptă şi ţara

noastră sunt complet deferite faţă de cele anterioare revoluţiei. Întreprinzătorii vor căuta să realizeze produse cât mai diversificate şi cu prioritate pe acelea care sunt căutate în fiecare perioadă pe piaţă. Aceasta presupune o caracteristică deosebită a întreprinderilor, aceea de a se putea adapta din mers, adică într-un timp foarte scurt, schimbărilor şi preferinţelor pieţei. Posibilităţi mari de adaptare le oferă întreprinderile mici şi mijlocii, care, de altfel, se realizează şi se vor realiza şi în ţara noastră în număr tot mai mare. Chiar şi o parte importantă a întreprinderilor mari, mai ales cele nerentabile, urmează să fie transformate prin restructurare în complexe de unităţi mai mici, pe profile, care să poată fi rentabilizate. O caracteristică deosebit de importantă a realizării întreprinderilor mici şi mijlocii o constituie amplasarea acestora, care în majoritatea cazurilor este stabilită de cei care suportă investiţiile, după ce au analizat sub toate aspectele corectitudinea hotărârii pe care o iau. Nu mai puţin important este faptul că, practic, toată industria, în primul rând întreprinderile noi, indiferent de mărimea lor, precum şi cele existente retehnologizate, va fi dotată cu echipamente tehnologice cu performanţe ridicate, moderne, care să permită realizarea produselor cu randamente ridicate, cu preţuri de cost cât mai reduse şi de calitate superioară.

Se poate afirma cu certitudine că toate aceste trăsături caracteristice de principiu, considerate pentru dezvoltarea activităţii social-economice şi în ţara noastră în cadrul economiei de piaţă vor pune probleme în mod deosebit sectorului energetic, respectiv furnizorului de energie electrică (într-o anumită măsură au şi început se apară). Aceasta deoarece, practic, nici una din activităţile care se vor desfăşura pe orice amplasament, de orice mărime şi specific, nu este posibilă fără să constituie un consumator electroenergetic. Evoluţia în direcţia economiei de piaţă din ţara noastră este, se poate spune, o certitudine şi depinde numai de timp, de numărul impresionant de consumatori mici şi mijlocii (abonaţi) care vor apărea, de lipsa de experienţă şi de cunoştinţe a acestora, în mod deosebit în domeniul electroenergetic. Astfel, se poate afirma că relaţiile de colaborare între consumatori şi furnizori, care într-o măsură destul de redusă au început deja să se manifeste, trebuie puse de la început pe baze noi, actualizate din toate punctele de vedere şi adaptate noilor cerinţe, care au şi început să apară, deocamdată pe scară mai redusă, dar care pot să se amplifice într-un timp foarte scurt, putând să aibă caracterul unei explozii pentru sectorul electroenergetic pe amplasamente situate în toate zonele ţării. Pentru aceasta este necesar ca într-un timp cât mai scurt, furnizorul de energie electrică, analizând cu deosebită atenţie toate implicaţiile care pot apărea, atât în perioada de tranziţie, dar mai ales în etapa de dezvoltare mai intensă a economiei de piaţă, să se pregătească din timp şi să ia măsurile necesare, pentru a putea satisface într-un termen cât mai scurt cerinţele consumatorilor. În aceste condiţii, furnizorului de energie electrică îi revine sarcina şi răspunderea tehnico-economică de a introduce, organiza şi stabili noi relaţii cu numărul foarte mare de consumatori. Aceste relaţii trebuie astfel iniţiate şi folosite, încât noii consumatori să înţeleagă că nu trebuie să înceapă nimic înainte de a consulta şi a lua acordul competent al furnizorului de energie electrică, fără asigurarea căruia nu poate desfăşura nici o activitate. Deci, este necesar ca în cadrul RENEL să se organizeze, practic în toate filialele judeţene, colective de consulting, care să constituie primele filiere de specialitate pentru realizarea noilor unităţi economice. Aceste colective pot face eventuale propuneri în legătură şi cu amplasarea noilor unităţi, cu tipul şi performanţele echipamentelor tehnologice, vizând în mod deosebit echipamentele energotehnologice, în vederea gospodăririi cât mai raţionale a energiei electrice şi a economisirii acesteia la maximum, mai ales că o astfel de acţiune constituie un stimulent şi pentru consumatori, în condiţiile noilor preţuri nesubvenţionate ale acesteia.

În noile relaţii ce se vor stabili apare un aspect nou, favorabil, care nu a existat până în prezent, şi anume, o nouă mentalitate a consumatorilor, dictată de interesul pe care-l au de a reduce, pe orice cale, cât mai mult consumul de energie electrică, devenind astfel foarte receptivi la orice măsură în acest sens. Pentru aceasta devine deosebit de importantă acţiunea de consulting prin care consumatorul să fie îndrumat, în mod corespunzător interesului său, să-şi procure echipamente moderne, cu grad ridicat de automatizare, de informatizare, cu randamente cât mai mari, cu care să poată realiza consumuri de energie electrică specifice minime. În legătură cu continuitatea în alimentare apare un aspect deosebit. Deoarece în condiţiile economiei de piaţă, când orice întreprindere trebuie să se adapteze cât mai repede cerinţelor pieţei (care se pot schimba la intervale scurte, aceasta putând duce la modificări importante în producţia întreprinderilor, fie cantitativă, fie calitativă, fie ca sortimente), întreprinzătorii pot solicita oricând, şi nu în mod obligatoriu de la anunţarea realizării întreprinderilor, asigurarea unei continuităţi în alimentare cât mai bune, adică asigurarea unei căi duble de alimentare, cu rezervă de 100 % şi prevederea trecerii automate într-un timp scurt, până la circa o jumătate de oră, la oricare dintre acestea. În consecinţă, se consideră indicat ca furnizorul de energie electrică să prevadă, prin

modul de organizare generală a configuraţiilor de reţele şi a posturilor de transformare, pentru orice consumator, chiar dacă acesta iniţial nu solicită sau nu necesită mai mult decât o alimentare simplă, ca în orice punct al reţelei să se poată, asigura, într-un timp scurt şi cu costuri suplimentare minime, a doua cale de alimentare, consumatorii respectivi trebuind să suporte cheltuielile suplimentare necesare. Relaţiile consumator-furnizor trebuie să cuprindă şi problema poluării interne a instalaţiilor electroenergetice de către unii consumatori, adică situaţiile în care consumatorii produc şocuri de putere activă şi reactivă, regim deformant sau nesimetrii de curent sau de tensiune, precum şi stabilirea măsurilor pe care aceştia trebuie să le ia pentru a nu perturba funcţionarea normală a celorlalţi consumatori. Se consideră necesar să se menţioneze că relaţiile consumator-furnizor nu se încheie odată cu intrarea în funcţiune a fiecărei întreprinderi sau activităţi, ci continuă să acţioneze într-un mod diferit pe toată perioada funcţionării consumatorilor. Caracteristica relaţiilor în această etapă, în cadrul economiei de piaţă, o constituie şi faptul că fiecare consumator este cointeresat să economisească energia electrică în scopul reducerii ponderii acesteia în preţul produselor. Majoritatea consumatorilor vor urmări sau vor trebui să fie conştientizaţi că este interesul lor să urmărească situaţia consumurilor şi cu ajutorul calculatoarelor de proces pe care le folosesc în întreprinderi şi în alte scopuri productive. Este însă necesar ca periodic (la 1 -2 ani) să se efectueze măsurători şi verificări, pentru a se constata, prin cunoaşterea mărimilor şi indicatorilor caracteristici, eficienţa modului de funcţionare a întreprinderilor şi al gospodăririi energiei electrice.

Dintre acestea se menţionează: puterile active maxime şi medii, energiile totale şi specifice, factorul de putere, coeficienţii de cerere şi de simultaneitate, coeficienţii de distorsiune ai undelor de tensiune, existenţa fenomenului de fliker, benzile de variaţie ale tensiunii şi altele. Un alt element nou care intervine în relaţiile furnizor-consumator în economia de piaţă, în unele cazuri, îl constituie faptul că anumiţi consumatori convin prin contracte încheiate cu parteneri externi, în special din ţările vecine, ca aceştia să plătească parţial sau integral produsele primite prin furnizare de energie electrică. Astfel de cazuri se examinează de către furnizorul autohton, desigur individual, pentru a stabili oportunitatea acceptării unei astfel de solicitări, precum şi în ce măsură este afectat în ansamblu sau local sistemul energetic naţional sub aspectul producerii şi circulaţiilor de puteri, respectiv al pierderilor de putere şi de energie electrică, putându-se astfel stabili condiţiile tehnice şi economice în care se rezolvă astfel de probleme.

În final, se consideră necesar să se menţioneze, că pentru a putea rezolva numărul mare de probleme pe care le vor cuprinde relaţiile din ce în ce mai complexe şi mai voluminoase dintre consumatori şi furnizori, în condiţiile economiei de piaţă, aceştia din urmă trebuie să intensifice informatizarea pe scară largă a cunoaşterii cât mai prompte şi mai corecte a situaţiei instalaţiilor electroenergetice şi a funcţionării acestora în întreg sistemul energetic naţional.

Concluzii

În materialul de faţă s-au prezentat, în prima parte, condiţiile apariţiei unor relaţii reciproce, şi în domeniul electroenergetic, între consumatori şi furnizori, datorită cerinţelor şi obligaţiilor fiecăreia din cele două părţi în procesul de alimentare cu energie electrică. Din analiza făcută în continuare s-a constatat că în perioada conducerii supercentralizate a tuturor sectoarelor economiei naţionale, care a avut o importantă influenţă negativă şi asupra domeniului energetic, respectiv electroenergetic, relaţiile furnizor-consumator nu au putut acţiona în sensul rezolvării problemelor dintre cele două părţi participante, care să ofere soluţii raţionale, datorită în mare măsură şi lipsei de interes din partea consumatorilor.

În condiţiile economiei de piaţă, iniţiativa privată şi obţinerea de profituri cât mai mari, constituie elemente care determină schimbarea mentalităţii şi interesului consumatorilor cointeresaţi în realizarea de economii şi la consumul de energie electrică. În această etapă relaţiile respective capătă o semnificaţie nouă şi datorită noilor aspecte tehnice şi economice moderne, precum şi introducerii informaticii, atât în instalaţiile consumatorilor, cât şi la furnizori şi trebuie să asigure cât mai repede şi corect, aspectul celor două părţi la gospodărirea raţională şi cu maximum de responsabilitate a energiei electrice, în toate sectoarele de activitate ale economiei naţionale, în noile condiţii caracteristice economiei de piaţă.

IMPACTUL LEGISLAŢIEI DE PROTECŢIE A MEDIULUI ASUPRA SECTORULUI ENERGETIC

ing. OVIDIU ŢUŢUIANU *

După 1990, ca urmare a schimbărilor politico-sociale pe plan intern şi intensificării acţiunilor pe plan internaţional, legislaţia de protecţie a mediului din România a început să se alinieze la cerinţele europene.

Noua lege a protecţiei mediului nr. 137/ 29.XII.1995, prin exigenţele sale sporite prezintă impacturi tehnice, organizatorice şi financiare deosebite asupra sectorului energetic şi în special asupra activităţii de producere a energiei electrice şi termice, care se numără printre sursele poluatoare importante.

Lucrarea se axează pe principalele obligaţii ce revin RENEL din legea respectivă, care se referă la:

- **obţinerea acordurilor şi autorizaţiilor de mediu;**
- **respectarea standardelor de emisie şi imisie;**
- **reducerea poluării de orice tip.**

After 1990, as a cosequence of the internal social and political changes and of the international bodies' even stronger involvment in the field, the Romanian legislation on the environmental protection tries more and more to meet to the European requirements.

The new law on the environmental protection no. 137/29.12.1995, due to its increased exigencies, shows the technical, organisational and financial impact on the power sector and mainly on the electricity and thermal power generation activities which are considered as major polluting sources.

The paper is based on the main RENEL's duties referred to the aforementioned law, namely :

- **accomplishing of environmental agreements and approvals;**
- **meeting of emission/imission standards;**
- **mitigation of any pollution kind.**

1. Poluarea mediului, problemă globală a omenirii *

Chiar dacă unele voci, mai mult sau mai puţin competente şi interesate, încearcă să minimalizeze contribuţia antropică, în raport cu cea naturală, la degradarea mediului ambiant global [1], studiile şi cercetările sistematice din ultimii 25 de ani (dintre care menţionăm: rapoartele " Clubului de la Roma" şi lucrările "Institutului pentru veghea mondială"- Worldwatch Institute, din Washington) trag adevărate semnale de alarmă asupra pericolelor care pândesc omenirea continuării unei dezvoltări economice necontrolate [2].

Preluate în cadrul activităţii diverselor organisme internaţionale, concluziile unor asemenea lucrări au dus la apariţia conceptului dezvoltării durabile (sustainability), care, chiar dacă nu întruneşte încă consensul semantic şi faptic, a reuşit să atragă atenţia şi interesul unui mare număr de tehnicieni, economişti şi politicieni din întreaga lume.

O serie de constatări ale specialiştilor, cum ar fi: creşterea cu 600 % a cantităţii de clor în atmosferă în ultimii patruzeci de ani, subţierea calotei polare de nord cu 2 % numai în ultimul deceniu, creşterea concentraţiei de CO_2 şi de alte molecule absorbante de căldură cu aproape 25 % de la cel de-al doilea război mondial, pericolul actual de dispariţie a unor specii de animale şi plante, de o mie de ori mai repede decât în orice altă perioadă din ultimii 65 milioane de ani, etc., ne îndreptăţesc să afirmăm că civilizaţia umană reprezintă acum cauza principală a schimbărilor mediului global [3].

* RENEL - Direcţia Strategie Dezvoltare

Nu este lipsit de semnificaţie nici faptul că în zilele noastre , în contextul crizei ambientale, oameni ai credinţei şi respectiv ai ştiinţei, care, de secole, au mers pe drumuri diferite, în efortul de a proteja "casa noastră comună" descoperă că aceste domenii converg.

2. Energia şi mediul înconjurător

Analiza problematicii complexe dezvoltare economică - energie - mediu, a demonstrat că eficienţa energetică şi protecţia mediului merg „mână în mână", astfel că, în majoritatea situaţiilor, poluarea poate constitui un semnal preţios pentru identificarea şi creşterea eficienţei energetice pe parcursul întregului "ciclu energetic" [4].

De aceea în prezent, majoritatea reglementărilor din domeniul protecţiei mediului au consecinţe asupra sectorului energetic, în timp ce problematica privind protecţia mediului însoţeşte în permanenţă eficienţa energetică în cadrul preocupărilor companiilor de electricitate, pe agenda manifestărilor stiinţifice, precum şi în cadrul tratatelor internaţionale.

O dovadă elocventă în acest sens o constituie "*Protocolul privind eficienţa energetică şi aspecte asociate legate de mediu*" din anexa 3 a Cartei Europene a Energiei, document semnat la 17 decembrie 1994 la Lisabona de către 49 de state, printre care şi România [5].

Acest document de excepţie în cooperarea internaţională cuprinde, printre altele, dorinţa părţilor contractante de a realiza un beneficiu maxim din eficienţa energetică în activităţile legate de prospectarea, explorarea, producerea, conversia, stocarea, transportul, distribuţia şi consumul diferitelor forme de energie, prelucrarea şi înlăturarea deşeurilor, ca şi întreruperea sau încetarea acestor activităţi, minimizând impactul negativ asupra mediului.

3. Impactul obiectivelor energetice asupra mediului înconjurător

Datorită complexităţii construcţiilor, instalaţiilor şi proceselor tehnologice, a caracteristicilor materiilor prime şi deşeurilor rezultate, a suprafeţelor ocupate, obiectivele energetice prezintă impacturi negative asupra tuturor factorilor de mediu, apă, aer, sol.

Termocentralele, mai ales cele care funcţionează pe cărbuni inferiori şi păcură cu conţinut ridicat de sulf, evacuează în atmosferă prin coşurile de fum emisii poluante gazoase şi pulberi.

Pulberile (cenuşa zburătoare) au efecte locale asupra mediului înconjurător, emisiile de SO_2 şi NO_x contribuie la formarea "ploilor acide" cu acţiune regională, în timp ce emisiile de CO_2 contribuie la creşterea " efectului de seră" la scară planetară. Emisiile de CO, CO_2, N_2O, NO_x sunt considerate că afectează şi stratul de ozon .

Unele statistici recente apreciază că 60 % din emisiile totale de SO_2, 30 % din emisiile de NO_x şi 57 % din emisiile de CO_2 din Europa sunt datorate sectorului de producere a energiei electrice .

Evoluţia emisiilor poluante din instalaţiile aparţinând Regiei Autonome de Electricitate (RENEL) în perioada 1980-1995 este prezentată în tabelul din anexa 1.

Apele evacuate din instalaţiile de răcire ale termocentralelor pot contribui la poluarea termică a râurilor , cu efecte negative asupra florei şi faunei acvatice. Apele reziduale din circuitele epurărilor chimice ale termocentralelor pot provoca poluarea chimică a emisariilor , scăpările prin neetanşeităţi ale instalaţiilor de transport, stocare şi alimentare din gospodăriile de păcură sau ulei pot provoca impurificarea apelor de suprafaţă, a solului şi a pânzei freatice.

Agregatele rotative, instalaţiile de reducere a presiunii gazelor naturale sau a aburului, supapele de siguranţă şi eşapările în atmosferă constituie surse de poluare fonică a mediului.

Coşurile de fum şi turnurile de răcire, datorită înălţimii lor considerabile, au impact asupra peisajului, depozitele de cărbune şi de deşeuri (şlamuri, dar mai ales de zgură şi cenuşă) ocupă suprafeţe importante de teren şi sunt surse potenţiale de poluare a aerului, apelor şi solului, iar conductele de transport al gazelor naturale, al păcurii sau al agenţilor termici afectează şi ele aspectul estetic, mai ales în zonele urbane.

Centralele nuclearoelectrice exercită impacturi asupra mediului înconjurător prin emisii de gaze, evacuări de efluenţi lichizi şi depozitări de deşeuri radioactive solide.

Amenajările hidroenergetice, deşi nu constituie surse de poluare, au o influenţă complexă asupra mediului înconjurător. În general, efectele economice şi sociale sunt favorabile, prin asigurarea folosinţelor, îmbunătăţirea căilor de comunicaţie şi favorizarea dezvoltării unor activităţi economice în zonă, (agrement, turism etc). In cazul acumulărilor mari sunt ocupate importante suprafeţe de teren din fondul agricol sau silvic şi sunt necesare strămutări, care afectează populaţia din zonă.

Apariţia unei amenajări hidroenergetice induce modificări în: morfologia cursului de apă, regimul debitelor, transportul aluvionar, regimul freatic, influenţând direct sau indirect flora, fauna sau chiar clima zonei. Lucrările de organizare de şantier, carierele, balastierele, în lipsa unor măsuri de redare în circuitul natural, au efecte nefavorabile asupra peisajului.

Liniile şi staţiile electrice au, potenţial, impact negativ asupra terenurilor ocupate de păduri, asupra unor obiective industriale, construcţii, căi de acces, activităţi agricole , asupra recepţionării programelor de radio şi televiziune, asupra peisajului.

De asemenea, ele pot constitui bariere în calea zborului unor specii de avifaună şi pot exercita influenţe negative asupra organismelor vii, prin câmpul electromagnetic şi zgomotele produse.

4. Reglementări privind protecţia mediului, cu consecinţe asupra sectorului energetic

După anul 1990, ca urmare a schimbărilor politico-sociale pe plan intern şi a intensificării acţiunilor pe plan internaţional, protecţia mediului a început să capete importanţă şi în România.

În consecinţă, ţara noastră a aderat la o serie de convenţii internaţionale privind mediul înconjurător.

În condiţiile în care, aşa cum s-a mai arătat, sectorul energetic este considerat printre principalele surse de poluare , majoritatea acestor convenţii au consecinţe asupra sectorului respectiv. Menţionăm dintre convenţii următoarele :

- *Convenţia asupra poluării atmosferice transfrontiere pe distanţe lungi* (încheiată la Geneva pe 13.11.1979) ratificată de România prin Legea nr. 8/25.01.1991;

- *Convenţia privind protecţia stratului de ozon* (adoptată la Viena pe 22.03.1985) urmată de *Protocolul de la Montreal* (adoptat la 16.09.1987) şi de *Amendamentul la Protocolul de la Montreal*, adoptat la Londra (27-29.06.1990). România a aderat la convenţia, protocolul şi amendamentul de mai sus prin Legea nr.84/03.12.1993;

- *Convenţia cadru a Naţiunilor Unite* asupra schimbărilor climatice semnată la Conferinţa de la Rio de Janeiro pe 15.06.1992 (intrată în vigoare în martie 1994), ratificată de România prin Legea nr. 24/06.05.1994;

- *Convenţia privind protecţia şi utilizarea cursurilor de apă transfrontiere şi a lacurilor internaţionale*, încheiată la Helsinki pe 17.03.1992 şi ratificată de România prin Legea nr. 30/26.04.1995.

- *Convenţia privind cooperarea pentru protecţia şi utilizarea durabilă a fluviului Dunărea*, semnată de 11 ţări riveran la Sofia pe 29.06.1994 şi ratificată de România prin Legea nr.14/24.02.1995 [6].

Coroborat cu convenţiile internaţionale privind protecţia mediului s-a trecut la reconsiderarea unor normative, standarde şi reglementări din domeniu şi s-au elaborat altele noi, prin Ministerul Mediului , devenit ulterior Ministerul Apelor, Pădurilor şi Protecţiei Mediului. Multe din acestea prezintă un deosebit interes pentru sectorul energetic (anexa 2).

5. Noua lege a protecţiei mediului şi impactul ei asupra sectorului energetic

Legea protecţiei mediului nr.137 din 29.12.1995, cu toate lipsurile care deja au început să fie relevate în mass-media, este superioară vechii Legi nr.9/1973 şi încearcă să se alinieze la cerinţele internaţionale, în contextul celor arătate mai sus.

Legea stipulează că protecţia mediului constituie o obligaţie a tuturor persoanelor fizice şi juridice . Prin exigenţele sale sporite, această reglementare prezintă un impact deosebit (tehnic şi mai ales financiar) asupra sectorului energetic şi în special asupra activităţilor de producţie, transport şi stocare de energie, aflate în topul activităţilor poluatoare pe locul 2, după transporturi, înaintea unor alte activităţi industriale din chimie, metalurgie, materiale de construcţii etc.

Principalele obligaţii ce revin RENEL din legea respectivă se referă la:

5.1. *Obţinerea acordurilor şi autorizaţiilor de mediu*

Acordurile de mediu sunt obligatorii pentru investiţiile noi, modificarea celor existente şi pentru următoarele activităţi nominalizate în anexa nr. II a legii:

* centrale nuclearoelectrice, reactoare de cercetare, instalaţii destinate extracţiei şi producţiei de combustibili nucleari, instalaţii de sinteză a apei grele;

* depozite destinate stocării temporare sau definitive a deşeurilor periculoase şi radioactive;

* instalaţii de prelucrare şi tratare a deşeurilor radioactive;

* centrale termoelectrice cu putere mai mare de 10 MW ;

* depozite pentru deşeuri sub formă lichidă , solidă sau păstoasă;

* instalaţii de tratare a apelor uzate;

* centrale hidroelectrice cu putere mai mare de 1 MW;

* amenajări hidrotehnice şi lucrări de captare a apelor subterane şi de suprafaţă ;

* puţuri de alimentare cu apă , mai adânci de 50 m;

* linii aeriene şi cabluri de înaltă tensiune îngropate, dimensionate pentru 220 kV sau mai mult .

Autorizaţiile de mediu sunt obligatorii la punerea în funcţiune a obiectivelor noi, care au acord de mediu şi în termen de un an de la intrarea în vigoare a legii, pentru activităţile existente.

Activităţile care nu implică lucrări de construcţii-montaj necesită numai "autorizaţie de mediu", cu excepţia cazurilor în care sunt necesare defrişări de vegetaţie forestieră din afara fondului forestier.

Valabilitatea acordului şi autorizaţiei de mediu este de maximum 5 ani.

Spre deosebire de anii trecuţi, procedura de autorizare prevăzută în noua lege este mult mai complexă, ea desfăşurându-se pe trei faze: preliminară, propriu-zisă şi de analiză şi validare.

Procedura de autorizare prevede elaborarea studiilor de impact şi dezbaterea publică a proiectelor.

Studiile de impact se realizează prin unităţi specializate , persoane fizice sau juridice atestate.

Pentru activităţile existente care nu întrunesc condiţiile de autorizare, autoritatea pentru protecţia mediului dispune efectuarea bilanţului de mediu şi stabileşte ,,programul pentru conformare", de comun acord cu titularul.

În caz de neconformare, autoritatea de mediu dispune încetarea activităţii respective.

De menţionat că titularul proiectului sau al activităţii trebuie să suporte atât costurile aferente elaborării studiilor de impact, cât şi taxele pentru emiterea acordurilor şi autorizaţiilor de mediu, încasate de autorităţile din domeniu.

5.2. *Respectarea standardelor de emisie şi de imisie (pentru aer şi apă)*

Această cerinţă presupune următoarele acţiuni:

- adoptarea de măsuri tehnologice adecvate pentru reţinerea şi neutralizarea poluanţilor (pulberi, SO_2, NO_x) ;

- dotarea cu sisteme proprii de supraveghere a instalaţiilor şi proceselor tehnologice pentru analiza şi controlul poluanţilor pe raza de incidenţă a activităţilor desfăşurate. Aceste sisteme trebuie să se integreze în sistemul naţional de monitorizare a mediului;

- organizarea unei evidenţe sistematice a rezultatelor măsurătorilor proprii asupra poluanţilor.

5.3. *Reducerea poluării de orice tip*

Necesită printre altele:

- propunerea de ,,programe de conformare" la solicitarea autorizaţiei de mediu;

- îmbunătăţirea performanţelor tehnologice şi ecologice ale instalaţiilor pentru noile investiţii sau pentru reabilitări - modernizări;

- măsuri şi dotări speciale pentru izolarea şi protecţia fonică a surselor generatoare de zgomot şi vibraţii;

- colaborarea strânsă cu autorităţile pentru protecţia mediului, pentru ca în situaţiile speciale să se asigure diminuarea , modificarea sau chiar încetarea activităţii generatoare de poluare;

- informarea autorităţilor competente şi a populaţiei în caz de eliminări accidentale de poluanţi în mediu sau de accident major;

- asigurarea depozitării controlate a tuturor categoriilor de deşeuri (zgură şi cenuşă, şlamuri etc).

Concluzii

Întrucât încălcarea obligaţiilor prevăzute de legislaţia de protecţie a mediului atrage răspunderea civilă , contravenţională sau penală, după caz, şi este aspru sancţionată, considerăm că se impun, la nivelul tuturor structurilor organizatorice din RENEL, măsuri de prevenire, orientate pe următoarele direcţii :

- inventarierea, pe baza studiilor de impact, a lucrărilor necesare pentru respectarea legislaţiei de mediu;

- asigurarea unui fond special destinat executării lucrărilor de protecţia mediului;

- perfecţionarea managementului de mediu în filiale, la nivelul grupurilor operaţionale şi la nivelul executivului;

- sensibilizarea ,,ecologică", prin diverse mijloace de instruire a tuturor categoriilor de personal;

- creşterea colaborării cu autorităţile locale şi centrale de mediu printr-o politică de transparenţă privind informaţiile legate de impactul instalaţiilor energetice , combinată cu

iniţiative de promovare a normelor , standardelor şi reglementărilor specifice, inclusiv a strategiei şi politicilor de mediu, care să echilibreze unele tendinţe de exagerare, sub aspectul tehnic şi financiar, din partea autorităţilor respective.

Anexa 1

SITUAŢIA EMISIILOR POLUANTE DIN INSTALAŢIILE RENEL
în perioada 1980-1995

Valori totale, calculate (mii tone/an)

Anul	SO_2	NO_x	Pulberi	CO_2
1980	1080	133	208	48460
1981	1023	135	220	50000
1982	1000	134	237	50400
1983	1065	140	266	53000
1984	1151	149	290	55800
1985	1207	156	284	58000
1986	1387	170	311	63500
1987	1394	169	316	63000
1988	1555	174	407	67400
1989	**1600**	**180**	**412**	**70000**
1990	1031	157	282	60400
1991	846	121	244	49000
1992	880	120	289	49020
1993	976	124	297	49050
1994	1036	122	307	47800
1995	1097	127	312	50000

Observaţii:

1. Evaluarea s-a făcut pe bază de calcul, conform metodologiei PE 1001/94.

Baza de date: lucrările ICEMENERG "Proiect de convenţie între RENEL şi MAPPM privind reducerea (pe ansamblul termocentralelor) a emisiilor poluante" şi "Situaţia funcţionării electrofiltrelor din termocentralele RENEL".

Anexa 2

REGLEMENTĂRI NAŢIONALE PRIVIND PROTECŢIA MEDIULUI CU CONSECINŢE ASUPRA SECTORULUI ENERGETIC

1. Referitor la factorul de mediu apă:

- Decretul Consiliului de Stat 414/79 privind "*Stabilirea valorilor limită admisibile ale principalelor substanţe poluante din apele uzate, înainte de evacuarea acestora*";
- Normativul C 90-83 privind "*Condiţiile de descărcare a apelor uzate în reţelele de canalizare a centrelor populate*";
- STAS 4706-88, *Ape de suprafaţă - categorii şi condiţii tehnice de calitate*;
- HGR nr.100/90 (modificată prin HGR nr. 354/91 şi HGR nr.160/92) privind "*Stabilirea de preţuri şi tarife pentru produsele şi serviciile de gospodărire a apei, precum şi penalizări în cazul încălcării prevederilor legale privind folosirea cantitativă a apelor şi protecţia calitativă a apelor de suprafaţă şi subterane ca factor de mediu*";
- Ordinul Ministrului Mediului nr.435/91 privind "*Autorizaţia de gospodărire a apelor*";
- Ordinul Ministrului Mediului nr.715/91 privind "*Avizul de gospodărire a apelor*";
- HGR nr.138/94 privind "*Stabilirea şi sancţionarea contravenţiilor în domeniul apelor*".

2. Referitor la factorul de mediu aer:

- STAS 9081/78, *Poluarea atmosferei* - terminologie;
- STAS 12574/87, *Calitatea aerului din zonele protejate* (Norme de imisii);
- STAS 10331/92, *Puritatea aerului. Principii şi reguli generale de supraveghere a calităţii aerului*;
- Ordinul Ministrului Apelor, Pădurilor şi Protecţiei Mediului nr.462/93. *Condiţii tehnice privind protecţia atmosferei* (Norme de emisii);
- Scrisoarea Ministrului Apelor, Pădurilor şi Protecţiei Mediului nr.12797/IJ/94. (Precizări privind normele de emisii pentru instalaţiile RENEL).

3. Referitor la factorul de mediu sol:

- *Norme tehnice ale Ministerului Agriculturii şi Alimentaţiei privind protecţia solului*, 1977;
- Legea nr.15/82. *Protecţia plantelor cultivate, a pădurilor şi regimul pesticidelor.*

4. Referitor la sănătatea populaţiei

- Ordinul Ministrului Sănătăţii nr. 623/73 privind "*Normele de igienă pentru protecţia mediului înconjurător în zonele locuite*";
- Norme republicane de protecţie a muncii, 1977.

5. Cu caracter general

-Ordinul Ministrului Mediului nr.170/01.11.1990,privind procedura şi competenţele de emitere a "acordului de mediu";
-Decizia Departamentului Mediului nr.113/26.11.1990,cu privire la normativul de conţinut şi lista obiectivelor pentru care sunt necesare studii de impact.
-Ordinul Ministrului Mediului nr.437/17.07.1991,privind procedura şi normativul de conţinut al documentaţilor pentru obţinerea "autorizaţiei de mediu".
-Ordinul Ministrului Mediului nr.619/21.09.1992, cu privire la procedura de elaborare a "studiilor şi analizelor de evaluare a impactului asupra mediului".
-Hotărârea Guvernului României(HGR) nr.127/30.03.1994,cu privire la stabilirea şi sancţionarea unor contravenţii la "normele pentru protecţia mediului înconjurător".
-Legea protecţiei mediului nr.137/29.12.1995

BIBLIOGRAFIE

[1] x x x *Global Warming: sorting the facts from the myths.* In: Coal Trans, vol.11, no.1., ian/feb 1996, p.42.

[2] B r o w n , L ş.a. *Probleme globale ale omenirii*, Editura Tehnică, 1988.

[3] G o r e A l . *Pământul în cumpănă . Ecologia şi spiritul uman*, Editura Tehnică ,1994.

[4] Ţ u ţ u i a n u , O . *Conservarea energiei şi protecţia mediului înconjurător.* In: Energetica, seria A, nr.3, mai/iunie, 1991, p.95 - 99.

[5] P o p e s c u , D . ş.a. *Carta Europeană a energiei.* In: ENERG, nr.10, Editura Tehnică, 1996, p.14 - 172

[6] Ţ u ţ u i a n u , O . ş.a. *Preocupări ale RENEL pentru aducerea la îndeplinire a convenţiilor internaţionale privind mediul înconjurător.* Raport la sesiunea Ştiinţifică a Comisiei de Energetică a Academiei Române, Bucureşti, 22 febr. 1996.

[7] x x x *Legea protecţiei mediului* (nr.137/29.12.1995) În: Monitorul Oficial al României, anul VII, nr. 304/30.12.1995.

---

* Articolul a fost elaborat înainte de apariţia Ordinului MAPPM nr.125/19.03.1996 prin care au fost anulate ordinele nr.170/1990; nr.437/1992; nr.619/1992 şi Decizia nr.113/1990.

IMPACTUL TERMOCENTRALELOR ASUPRA MEDIULUI ÎNCONJURĂTOR

ing. MARIN VICTOR *; chim. ELEONORA ATAMAN *

Prin prisma experienţei în domeniu, autorii trec în revistă tipurile de impact produs de termocentrale asupra mediului şi scara de manifestare a acestora. Se insistă şi asupra noţiunii de autopoluare, adesea neglijată.

Monitorizarea impactului termocentralelor asupra factorilor de mediu în zona proximală, ca urmare a prevederilor Legii 137/95, va intra în activitatea de rutină a laboratoarelor ecologice din centrale.

Legea mediului aduce totodată obligaţia realizării o dată la 5 ani a bilanţurilor de mediu ce să cuantifice urmările efectelor impactului asupra diverşilor factori de mediu.

Legislaţia energetică ce se va elabora trebuie să fie concordată cu cea de mediu, influenţa acesteia din urmă asupra strategiilor energetice şi da combustibil fiind esenţială.

On the basis of their wide experience in the field, the authors present the TPPs' impact sorts and ratios on the environment. They also insist upon the self-pollution notion which is often ignored.

Monitoring of the TPPs'impact on the environment in the contiguous zone, required by the 137/97 law, will become a current activity of the eco-labs within the power plants.

The environment law also requires that every 5 years, environmental audits should be accomplished for assesment of the impact effect over the environment.

The energy legislation ongoing to be issued must comply with the environmental legislation whose influence upon the energy and fuel strategies is of utmost importance.

Termocentralele româneşti au fost proiectate şi construite într-o etapă anterioară intuirii importanţei ce se va acorda identificării, cuantificării şi reducerii impactului surselor antropice asupra mediului. Ele ar putea fi aduse la condiţia de a fi centrale cu impact negativ limitat asupra mediului, dar cu eforturi tehnice, financiare, umane etc. considerabile.

Aceste termocentrale au fost proiectate într-o perioadă în care impactul funcţionării lor asupra mediului era subvaluat, iar constrângerile referitoare la protecţia mediului erau relativ puţine. Chiar amplasamentul lor a fost ales, de cele mai multe ori, după criterii arbitrare şi niciodată după cel al impactului minim asupra mediului. Foarte ades ele au fost amplasate pe platforme industriale de tip conglomerat (industria chimică, petrochimică, metalurgică etc.), unde nivelul de poluare al atmosferei era deja foarte ridicat.

Proiectarea şi construcţia centralelor nu a fost precedată de elaborarea unor studii de impact asupra mediului. Ca urmare, nu se cunoaşte starea mediului înainte de construcţia şi punerea lor în funcţiune. Informaţiile asupra florei spontane, faunei, solului, populaţiei, calităţii apelor freatice etc. din zona de amplasament sau din zonele aflate sub influenţa termocentralei, care să caracterizeze starea acestora la momentul "zero", anterior instalării amenajărilor de şantier şi al ridicării termocentralelor, sunt lacunare şi cele care există, sumare şi incerte.

Majoritatea centralelor datează din perioada în care dispersia gazelor de ardere prin coşuri de fum înalte era considerată un mijloc infailibil şi eficient pentru evitarea poluării aerului în zona învecinată centralei (ignorându-se pericolul mutării poluării aerului la medie şi mare distanţă, uneori chiar transfrontieră).

Înălţimea coşului de fum era astfel calculată încât nici în cele mai defavorabile condiţii meteorologice, în cazul unei dispersii slabe a penei de fum emise de termocentrală, valorile maxime

* Grupul de Producere a Energiei Electrice şi Termice - GPEET - RENEL

admise de normele de calitate a aerului să nu fie depăşite pentru principalii poluanţi (SO_2, NO_2 şi pulberi în suspensie) în atmosfera zonei în care pana de fum lua contact cu solul.

Impactul termocentralelor asupra mediului se manifestă atât pe teritoriul termocentralei însăşi, cât şi în afara perimetrului acesteia (tabelele 1 - 5).

Teritoriul centralei este supus unui impact al poluării proprii, peste care se suprapune un "import de poluare" (poluare produsă de alte surse) (tabelul 1).

produse petroliere (provenite de la fluidificarea şi încălzirea păcurii).

În cazul termocentralelor pe cărbune şi al celor pe păcură deteriorarea echipamentelor aflate în aer liber şi acoperirilor de protecţie, degradarea clădirilor, coroziunile pieselor metalice etc. sunt uzuale. Intensitatea atacului corosiv este amplificată de condiţiile climatice particulare zonei de amplasare (umiditate, prezenţa aerosolilor, condiţii slabe de dispersie, frecventă inversiune termică

Tabelul 1

Impactul asupra mediului pe teritoriul centralei (autopoluare + poluare "de import")

Impactul produs prin:	Provenienţa agentului poluant	Agentul poluant
Autopoluare	* *emisii nedirijate* - de la rampele de descărcare a reactivilor şi combustibililor, depozite, staţie de pretratare, canale de gaze neetanşe etc.	- pulbere de cărbune - cenuşă zburătoare - pulbere de var, sulfat feros - aerosoli de NaOH, NaCl - vapori de HCl, de hidrocarburi - gaze de ardere - gaze de eşapament
	* *emisii dirijate* a) prin sistemul de ventilaţie	- vapori de HCl, NH_3, N_2H_4 - aerosoli de NaOH, $Ca(OH)_2$, NaCl - praf de cărbune - cenuşă zburătoare
	b) prin turnurile de răcire	- picături de apă cu încărcătură salină (la indici de concentrare ridicaţi) - vapori de apă ce pot solvi poluanţi gazoşi
	c) prin coşul de fum	-cenşă grosieră uşor sedimentabilă
	* *pierderi de lichide din conducte, atât supra, cât şi subterane, din rezervoare*	- ape uzate cu înaltă încărcătură salină, produse petroliere etc. - reactivi concentraţi sau diluaţi - apă de hidrotransport
	* *echipamente*	- zgomot
Poluare "de import"	* *precipitaţii murdare* formate prin "rain-out"	- H_2SO_4 - HNO_3 şi $(NH_4)_2SO_4$
	* *precipitaţii curate* ce spală local atmosfera "wash-out"	- SO_2 - H_2SO_3, NH_4HSO_3
	* *poluanţi primari* proveniţi din alte surse	- particule, vapori, gaze
	* *poluanţi secundari* proveniţi din alte surse	- sulfaţi, azotaţi (depuneri uscate şi aerosoli uscaţi sau umezi)

Rampele de descărcare a combustibilului şi reactivilor sunt principala sursă de poluare a solului pe teritoriul centralelor; sunt în acelaşi timp o sursă majoră de emisii nedirijate (în atmosferă); unele însă sunt amplasate în cuve placate antiacid, prevăzute cu drenaje, minimizându-se riscul poluării solului şi implicit al subsolului şi al apelor freatice (vezi tabelul 5).

Poluarea cu pulberi de cărbune în zona gospodăriei de combustibil solid este uneori severă; rezervoarele de păcură constituie o sursă de poluare în sine, atât prin emisii nedirijate de vapori de hidrocarburi, cât şi prin apele poluate cu

etc.). Atacul propriu, autopoluare, la aceste termocentrale este semnificativ şi trebuie să facă obiectul unor studii premergătoare analizelor de impact de rutină. Deşi omniprezent, el nu este urmărit la nici o centrală, doar constatat.

Impactul termocentralei asupra mediului este urmărit, de regulă, numai asupra mediului înconjurător exterior centralei, deci "dincolo de gard". Starea mediului nu se cunoaşte nici în prezent decât relativ (aşa cum nu se cunoaşte nici cea de la momentul "zero"). Nu există o activitate definită, stabilă, continuă şi profesională de expertizare sistematică şi monitorizare a stării

mediului şi nici de urmărire a evoluţiei acestei stări. Sistemele de monitorizare se limitează la factorul de mediu aer, uneori apă şi în anumite limite, de sol.

Nu e de mirare că impactul termocentralelor asupra mediului este urmărit mai ales pentru doi factori - aer şi apă şi doar excepţional şi pentru al treilea factor, solul.

Zona "locală", delimitată între gardul termocentralei şi zona "regională" se întinde până la aproximativ 10 km de centrală şi poate fi împărţită la rândul ei, într-o zonă locală proximală şi una locală distală. Afectarea ei de către emisiile centralei, atât cu poluanţi primari, cât şi cu poluanţi secundari, este prezentată în tabelul 2.

Ordinea descrescătoare a afectării factorilor de mediu în zona locală prin emisii dirijate de la termocentrale este: aer, floră, sănătate umană, faună, vizibilitate, sol, ape de suprafaţă, materiale şi construcţii.

Zona "regională" începe la terminarea zonei locale distale şi se întinde pe sute şi uneori mii de kilometri. Ea este afectată de emisiile de la termocentrale numai prin poluanţi secundari (tabelul 3). Factorii de mediu cei mai afectaţi în zona regională sunt: flora, solul, apele de suprafaţă, sănătatea umană, fauna, materialele şi aerul.

Tabelul 2

Impactul termocentralei asupra mediului în zona locală (poluare locală)

Zona locală	Impact produs de:	Factorul de mediu afectat (ordine descrescătoare)
Proximală	* emisile dirijate prin sistemul de ventilaţie * emisii dirijate prin turnurile de răcire * emisii dirijate la coş de fum a) sedimentarea de particule grosiere de cenuşă b) sedimentarea de poluanţi gazoşi primari (SO_2, NO_2) şi secundari (NO_2 provenit din oxidarea promptă a NO din gazele de ardere în contact cu atmosfera) c) spălarea de către ploile curate a poluanţilor primari din pana de fum în zona centralei (Wash - out)	1 - aer 2 - flora 3 - fauna 4 - sănătatea umană 5 - vizibilitate 6 - sol 7 - apa (de suprafaţă) 8 - materiale 9 - construcţii
Distală	* emisii dirijate la coş a) sedimentarea de poluanţi primari gazoşi (limitată) b) sedimentarea de poluanţi secundari (aerosoli lichizi sau solizi, sulfat de amoniu, acid sulfuric, azotic etc.) c) formarea poluanţilor fotochimici (ozon, PAN etc.)	1- aer 2 - sol 3 - floră 4 - faună 5 - sănătate umană 6 - apa (de suprafaţă) 7 - vizibilitate 8 - materiale 9 - construcţii

Tabelul 3

Impactul termocentralei asupra mediului în zona regională ("LONG RANGE")

Zona afectată	Impact produs de:	Factorii de mediu afectaţi (în ordine descrescătoare)
La mare distanţă de sursă (până la mii de km)	* emisii dirijate la coş: a) prin pânze captive transportate la mare distanţă b) prin transport normal Obs. Sunt prezenţi numai poluanţi secundari: SO_4^{2-}, NO_3^-, NH_4^+, H^+ Forma tipică de manifestare-complex de fenomene cunoscut sub sintagma "ploi acide"	1 - floră 2 - faună 3 - sol 4 - ape de suprafaţă 5 - materiale 6 - construcţii 7 - om - sănătate umană 8 - aer

Zona "globală" este afectată de poluanţii primari, precum şi de cei secundari din emisia centralelor (CO_2, NO_x şi alte gaze cu efect de seră sau precursori ai reacţiilor fotochimice ce duc la sărăcirea stratului de ozon stratosferic). Factorul afectat direct: clima, iar indirect: flora, fauna, sănătatea umană (tabel 4).

poluanţilor primari sau secundari mai ales în zonele proximale şi locale.

Monitorizarea cât mai completă a impactului termocentralei asupra factorilor de mediu aer, apă şi sol în zona proximală va trebui să intre în activitatea de rutină a fiecărui laborator ecologic pentru a răspunde cerinţelor Legii 137/95 şi pentru

Tabelul 4

Impactul termocentralei asupra mediului la scara globală (poluare globală)

Zona afectată	Impact produs de:	Factorii de mediu afectaţi în ordine descrescătoare
Atmosfera terestră (globală)	* emisii dirijate la coş a) prin transfer de gaze la limita tropopauzei; ca urmare trec poluanţi primari din troposferă în stratosferă: SO_2, NO_x,CO_2, H_2O Obs. Efectul probabil este influenţa asupra sărăcirii stratului de ozon stratosferic; b) acumularea de CO_2 în troposferă, dar şi în stratosferă Obs. Intensificarea efectului de seră	1 - clima 2 - flora 3- fauna 4 - om - sănătate umană

Tabelul 5

Impactul termocentralelor (inclusiv al haldelor) asupra factorului de mediu apa

Zona de impact	Tip de apă	Impactul
Teritoriul centralei şi zona locală	a) de suprafaţă	1) reducerea debitului pe râu prin captarea unor debite mari de apă ce nu vor mai fi returnate integral; 2) returnarea în râu a unor debite de ape cu înaltă încărcătură de ioni (cei proveniţi din epurarea apei captate şi consumate şi din reactivii utilizaţi la regenerarea maselor schimbătoare de ioni); 3) creşterea temperaturii apei de râu prin returnarea apelor calde purjate din circuitul de răcire sau de la răcirea în circuit deschis fără recirculare; 4) impurificarea cu produse petroliere 5) acidifierea apelor (tendinţă generală)
	b) de adâncime	1) impurificarea pânzei freatice datorită infiltraţiilor de pe teritoriul centralei (ape pluviale impure, pierderi prin neetanşeităţi, deversări accidentale la rampă etc) 2) infiltraţii din haldele de zgură şi cenuşă 3) infiltraţii de ape poluate ce au solvit cationi toxici (ca urmare a mobilizării acestora din solul supus acidifierii)
La mare distanţă	* de suprafaţă * de adâncime	1) acidifiere prin ploi acide şi depuneri uscate 1) acidifiere prin ploi acide

Noua lege a mediului aduce pentru prima oară în faţa celor ce elaborează studii şi analize de impact obligaţia realizării şi a unor bilanţuri de mediu, ce să cuantifice urmările efectelor impactului asupra diverşilor factori de mediu. Dificultatea realizării acestui bilanţ pentru toată viaţa proiectată a sursei antropice de emisie (termocentrala) constă mai ales din cunoaşterea insuficientă a impactului poluanţilor asupra mediului, din imposibilitatea cuantificării acestui impact şi din dificultatea identificării aportului termocentralei la poluarea mediului într-o zonă în care se află multiple surse de emisie antropice ce pot genera situaţii de acţiuni sinergice ale

a putea dispune de datele necesare elaborării analizelor de impact uzuale şi a auditurilor de mediu.

Dacă pentru eleborarea studiilor şi analizelor de impact asupra mediului produse de termocentrale există o metodologie oficial recunoscută (adoptată de RENEL şi aprobată de MAPPM) , conform noii legi a mediului urmează să fie precizate condiţiile de elaborare şi conţinutul (modelul cadru) pentru raportul asupra studiilor de impact, dar şi pentru bilanţurile de mediu.

Legislaţia energetică trebuie să fie concordantă cu cea de mediu, influenţa acesteia din urmă asupra strategiilor energetice şi de combustibil fiind indubitabilă. □

ASPECTELE LEGISLAŢIEI ENERGETICE ÎN RAPORT CU FOLOSINŢELE AMENAJĂRILOR HIDROENERGETICE

dr. ing. GHEORGHE LUCA *

Pe baza proiectelor de legi din domeniul amenajărilor hidroenergetice (legea apelor, aprobată de Camera Deputaţilor şi în dezbatere la Senat, legea energiei electrice şi termice în curs de finalizare ca proiect la Guvern şi un proiect legislativ privind promovarea şi finanţarea amenajărilor hidrotehnice complexe cu folosinţe multiple în curs de discutare la Camera Deputaţilor), autorul propune (şi argumentează) o serie de îmbunătăţiri ale legislaţiei actuale privind eficienţa economică a amenajărilor hidroenergetice, inclusiv prevederile specifice din normativele în vigoare.

Aplicarea acestor propuneri ar duce la accelerarea valorificării potenţialului hidroenergetic disponibil şi la folosirea acestuia la un nivel apropiat de cel din ţările dezvoltate economic din Europa şi din lume.

On the basis of the projects of law on the storage plant (the waters law approved by the MPs' Chamber and discussed in the Senate, the energy law underway to be concluded as project at the Government and a law project on promoting and financing of the complex storage plant with multiple use which is ongoing to be discussed in the MPs' Chamber), the author proposes (and motivates) some improvements of the present legislation on economic efficiency related to of the hydro projects, inclusively the specific requirements of the effective regulations.

Application of these propositions would improve the available power plant capacity and would create the possibility of its being used at a level closed to the European and worldwide developed countries one.

Introducere

În prezent cele două proiecte de legi ale energiei electrice şi termice, variantele RENEL şi Ministerul Industriei, s-au unificat, iar proiectul de lege rezultat se află în curs de aprobare la Guvern pentru a fi înaintat Parlamentului. În acest proiect de lege îşi găsesc locul şi amenajările hidroenergetice, prin care se valorifică cea mai importantă resursă energetică regenerabilă, protenţialul hidroenergetic.

Specificul acestor amenajări, care sunt încadrate în schemele cadru de amenajare prevăzute în Legea Apelor, aprobată de Camera Deputaţilor şi înaintată la Senat, face ca amenajările denumite de noi hidroenergetice să fie practic amenajări hidrotehnice complexe, cu folosinţe multiple, ele satisfăcând toate folosinţele de apă din zonă şi alte servicii.

Normativele existente, moştenite din perioada anterioară, sunt învechite; ele sunt însă în curs de revizuire, pentru a fi adaptate la perioada pe care o parcurgem - tranziţie la economia de piaţă, respectiv integrarea europeană.

Prezenta lucrare conţine o serie de observaţii şi propuneri la proiectul de lege.

Subliniem două aspecte:

- proiectul de lege a energiei electrice şi termice nu tratează problematica resurselor energetice regenerabile şi economia de energie care reprezintă, după aprecierile unei recente discuţii în APER, una din cele mai importante resurse de energie;
- în cheltuielile pentru realizarea şi exploatarea amenajărilor hidroenergetice sunt incluse cheltuielile pentru asigurarea şi transportul agentului purtător de energie (apa) şi folosinţelor multiple ale acestor amenajări în cadrul economiei naţionale.

1. Critici la adresa practicii la zi în domeniul energiei electrice

După cum se cunoaşte, resursele hidroenergetice folosite au o importanţă deosebită în cadrul S.E.N ., contribuind la:

* Consilier HIDROCONSTRUCŢIA S.A. şi I.S.P. H.

a - acoperirea necesarului de resurse primare energetice;

b - acoperirea graficului zilnic de sarcină în special în zonele de vârf;

c - asigurarea reglajului frecvenţă - putere în cadrul sistemului;

d - asigurarea energiei şi puterii necesare pentru intervenţii în caz de avarii şi limitarea acestora; acelaşi rol îl vor avea şi viitoarele amenajări în curs de realizare şi cele care se vor mai promova.

Faţă de cele arătate mai sus şi prevederile normativelor existente formulăm următoarele cirtici:

1.1. La hidrocentrale se iau în considerare în principal funcţiile a şi b arătate mai sus şi parţial c; funcţia d de neglijează total în mod eronat şi parţial c, iar investiţiile şi cheltuielile de exploatare includ cheltuielile aferente restului folosinţelor şi serviciilor şi pentru asigurarea şi transportul agentului purtător de energie (apa).

1.2. La termocentrale nu se iau în considerare cheltuielile pentru asigurarea şi transportul combustibilului (agentul purtător de energie) decât în cheltuielile de exploatare (preţ combustibil) şi gradul de folosire a puterii realizat în practică; la consumul intern nu se include şi consumul de energie necesar pentru extragerea şi transportul combustibilului.

1.3. La cheltuielile pentru protecţia mediului:

- la termocentrale se iau în considerare cu totul parţial (captarea cenuşilor), studiile de impact sunt în curs, fără oglindire în cheltuielile de exploatare şi investiţii; nu se aplică taxele pe CO_2 şi altele care au început să se aplice la nivel european;

- la hidrocentrale studiile de impact sunt în curs de desfăşurare cu determinarea cheltuielilor de investiţii şi exploatare care urmează să se reglementeze; influenţele sunt relativ mici.

2. Propuneri pentru reglementare probleme hidro

2.1. În cadrul legislaţiei naţionale este necesară reglementarea la nivel naţional a problemelor legate de:

- promovarea amenajărilor hidrotehnice complexe cu folosinţe multiple;
- finanţarea şi exploatarea acestora.

La baza acestora stau următoarele principii:

a - aceste obiective sunt de interes naţional şi deci de utilitate publică;

b - la promovarea lor să se ţină seama de toate folosinţele şi serviciile asigurate;

c - finanţarea fondurilor de investiţii necesare să fie făcute din: bugetul de stat, bugetele locale, fondurile de dezvoltare a tuturor folosinţelor şi participare sub diferite forme a fondurilor particulare (persoane juridice sau fizice, inclusiv prin oferte de teren);

d - la exploatare se plătesc de către utilizatori toate folosinţele şi serviciile asigurate;

c - beneficiile rezultate se plătesc proporţional tuturor participanţilor la finanţarea acestor obiective; cele aferente bugetelor şi fondurilor de dezvoltare a folosinţelor să constituie fonduri speciale destinate promovării şi finanţării amenajărilor hidrotehnice noi sau în curs de realizare.

2.2. În cadrul normativelor specifice trebuie să se realizeze o comparaţie corectă a centralelor electrice hidro şi termo la nivel de eficienţă economică şi strategie de dezvoltare:

- la hidrocentrale sunt necesare:

- luarea în considerare a tuturor folosinţelor şi serviciilor atât la investiţii, cât şi la exploatare (cheltuieli şi venituri);

- luarea în considerare a tuturor funcţiilor îndeplinite în SEN (conform notei albastre*);

- luarea în considerare a contribuţiei în reducerea importurilor de combustibili (care a ajuns la peste 1 miliard de dolari) şi reducerea poluării mediului ambiant.

- la termocentrale să se aibă în vedere:

- luarea în considerare a cheltuielilor legate de protecţia mediului conform legislaţiei europene;

- luarea în considerare a gradului de folosire a capacităţii ţinând seama de realitatea la zi;

- luarea în considerare, cel puţin pentru strategie, a cheltuielilor pentru asigurarea şi transportul combustibilului şi a consumului de energie necesar pentru acestea;

- luarea în considerare a riscului legat de asigurarea importului de combustibili.

Concluzii

După cum se cunoaşte, gradul de folosire a potenţialului hidroenergetic în ţara noastră a ajuns la o valoare de circa 40 %, cu mult mai mic decât cel realizat în multe ţări europene care dispun de această resursă. Perspectiva creşterii acestuia în perioada următoare nu este optimistă, ci din contra, există pericolul de a rămâne stagnant, ca urmare a neluării în considerare a tuturor efectelor economice** rezultate din folosirea acestei resurse disponibile la nivelul economiei naţionale.

---

* după părerea autorului (n.r.)

** Este vorba despre adaptarea Notei albastre la realităţile româneşti

Realizările mari din multe ţări dezvoltate economic în acest domeniu, atât din Europa, cât şi din restului lumii se pot explica prin creşterea gradului de folosire a potenţialului hidroenergetic

Considerăm că mai trebuie luate în considerare următoarele aspecte:

- resursele hidroenergetice reprezintă principala resursă energetică regenerabilă, care, dacă nu se foloseşte, se pierde pentru totdeauna pentru omenire, respectiv şi pentru ţara noastră;
- dacă cele 16 TWh produse de centralele hidro în 1995 s-ar fi produs în termocentralele în funcţiune, cantităţile de noxe ar fi mai mari cu : 507 - 200 t SO_2. 136 000 t NO_x, 6400 t pulbere, 27 000 000 CO_2, 400 000 t CO şi 10 000 000 t cenuşi;
- prin luarea în considerare a tuturor folosinţelor, eficienţa economică a acestor amenajări ar deveni mult mai favorabilă pentru eventualii investitori străini, inclusiv bănci particulare; pe plan mondial aceste investiţii au devenit o practică curentă (de exemplu China şi Brazilia).

Informaţii

(continuare din pag.129)

Privitor la tema centralizării activităţii de cercetare, în Germania părerile sunt contrare şi sunt discuţii pentru că există deja o mare capacitate de cercetare în Germania. Exemplul institutului EPRI din S.U.A. (EPRI, înfiinţat în 1972 de către industria energetică americană, are un total de 500 de membrii şi se ocupă centralizat de cercetare - dezvoltare) nu este concludent, deoarece iniţial EPRI a elaborat proiecte C & D pe bază de contracte, iar ulterior a stabilit centre de cercetare specializate, aşa cum a făcut şi VGB, la o scară semnificativ mai mare.

În Germania se dă mare importanţă colaborării în domeniu între instituţii de cercetare precum: "Cercetarea minieră" (Bergbauforschung), Institutul de Încălzire cu Gaze, Societatea Germană pentru Cercetarea Păcurii şi Cărbunelui, Asociaţia Germană pentru Cercetarea Arderii (la care VGB este membru), Institutul de Tehnologia Materialelor, Institutul de Cercetare Operaţională al Asociaţiei Germane a Metalurgiştilor (de pe lângă TÜV = Agenţia de Inspecţie Autorizată) şi chiar institutele şi fundaţia de cercetare ale VGB.

Finanţarea cercetării

În Germania finanţarea cercetării este foarte complicată. Promovarea finanţării cercetării de către guvern este văzută ca o interferenţă a statului în problemele interne ale întreprinderilor sau ca o 'împărţire ineficientă a unor felii de tort', iar finanţarea proiectelor dintr-un fond comun ridică multe probleme de evaluare şi de prioritate. Unele proiecte se finanţează de către mai multe companii interesate. Fundaţia de cercetare a VGB garantează echilibrul surselor de finanţare şi este susţinută efectiv de către Asociaţia Institutelor de Cercetare Industriale (AIF), în special pentru promovarea cercetării ştiinţifice în universităţi, care este utilă în special membrilor VGB mai mici sau celor industriali.

Inovaţiile tehnice şi îmbunătăţirile pot fi obţinute cu greu acum şi în viitor fără o cercetare şi o cooperare specifică. Oamenii de ştiinţă înşişi, ca să nu mai vorbim de cercetătorii individuali, nu mai au nici o putere astăzi să ia decizii în legătură cu derularea proiectului de cercetare.

Există o cerinţă imperioasă pentru o convertire mai rapidă a rezultatelor cercetării ştiinţifice în practică. O cercetare fundamentală liberă, fără restricţii de timp, a devenit din ce în ce mai greu de abordat.

VGB oferă condiţii optime pentru coordonarea acestor probleme. Consiliul Ştiinţific al VGB are reprezentanţi din universităţile tehnice importante, din cele mai diverse domenii de specialitate, care pot coordona eficient întreaga activitate de cercetare.

În ultimul timp, în Germania finanţarea cercetării permite, în general, să se utilizeze "o treime din fonduri" pentru aplicaţii directe. Oblectivele cercetării devin din ce în ce mai complexe şi astfel cheltuielile cu echipamentele şi personalul devin din ce în ce mai mari.

Apar greutăţi când sponsorii impun scheme preconcepute de gândire. Ştiinţa nu este o afacere care să se decidă printr-o majoritate de opinii şi nu se pot forţa opiniile minoritare.

De asemenea, este un act de curaj ca o instituţie să refuze un proiect C&D care i se pare neinteresant, când este în joc existenţa ei din punct de vedere financiar.

Rezultatele cercetărilor sunt popularizate chiar dacă au un efect neplăcut asupra publicului larg.

Germaniei îi este specifică "fobia tehnologică". Institutele de cercetare trebuie să fie încurajate să susţină şi să promoveze transferul tehnologic . Această preocupare are efecte multiple dintre care cel mai interesant este reducerea şomajului.

Cercetarea trebuie să fie întotdeauna cu un pas înaintea dezvoltărilor posibile, astfel încât cercetătorii să nu fie forţaţi să accepte reglementările comerciale ale outsiderilor.

COSTUL MARGINAL, UN REPER ESENŢIAL PENTRU APRECIEREA ACTIVITĂŢII DE PRODUCŢIE

dr. ing. DAN ION PREDOIU

Trecerea de la economia de comandă la economia de piaţă trebuie să ia în considerare costul marginal, care în domeniul producţiei de energie electrică este necesar să includă şi efortul financiar pentru procurarea combustibililor.

Sunt prezentate câteva aspecte specifice, precum şi implicaţiile economice şi politice proprii producţiei de energie electrică în cazul adoptării costului marginal.

Under the transition to the market economy, the marginal cost in the electricity field has to be taken into consideration it must also include the financial effort required for fuels procurement.

The paper presents some particular aspects as well as the economic and political implications specific to the electricity generation when the marginal cost is adopted.

Costul marginal privind producţia de energie electrică trebuie să fie analizat din două ipostaze distincte:

1 - ca rezultat al activităţii industriei extractive;

2 - ca rezultat al activităţii de producţie a centralelor electrice.

1. Din punctul de vedere al activităţii industriei extractive la realizarea energiei electrice pentru obţinerea resurselor energetice primare se defineşte costul marginal ca reprezentând nivelul cel mai ridicat al cheltuielilor efectuate de unităţile economice din industria extractivă, care-şi desfăşoară activitatea în condiţii de producţie mai puţin favorabile (datorită mediului natural), dar ale căror produse sunt vitale pentru societate.

Costul marginal poate fi folosit ca punct de plecare în formarea preţurilor de vânzare a produselor respective, prin al cărui nivel trebuie să se asigure, înainte de toate, recuperarea costurilor efectuate şi, în principal, cointeresarea materială a întreprinderilor care au avut condiţii naturale de producţie mai puţin avantajoase.

În această analiză trebuie să fie luat în considerare şi nivelul costurilor plătite pentru importul de resurse energetice primare (petrol, gaze naturale, cărbune).

2. Din punctul de vedere al activităţii de producere a centralelor electrice costul marginal este definit ca fiind costul aferent producerii unei unităţi suplimentare din energia electrică şi căldură, utilizând capacităţile de producţie existente.

În costul marginal privind producţia de energie electrică ar trebui să se regăsească ambele aspecte semnalate mai sus, referitoare la produsul final ca fiind atât al activităţii industriei extractive, cât şi al activităţii de producţie a centralelor electrice analizate.

Marginal înseamnă suplimentar.

Deciziile în promovarea procesului de producţie trebuie să fie luate prin aprecierea nivelului costurilor suplimentare în raport cu nivelul beneficiilor suplimentare.

Din punct de vedere matematic, dacă producţia creşte cu o cantitate "Δx" peste un anumit nivel de producţie "x" şi dacă "$\Delta \pi$" este creşterea corespunzătoare a funcţiei costurilor totale de producţie $\pi(x)$, atunci raportul:

$$\frac{\Delta\pi(x)}{\Delta x}$$

poate sta la baza definirii noţiunii de cost marginal.

Din acest punct de vedere, costul marginal se defineşte ca fiind valoarea limită a raportului $\frac{\Delta\pi}{\Delta x}$, când Δx devine suficient de mic, astfel încât curba $\frac{d\pi}{dx}$ să devină tangentă la curba funcţiei costurilor totale de producţie $\pi = f(x)$.

Cu alte cuvinte, costul marginal în cazul general este identificat ca fiind derivata funcţiei costurilor totale de producţie $\pi = f(x)$ în punctul analizat.

Costul marginal determină astfel rata creşterii costurilor totale şi aproximează costul unei (mici) unităţi adiţionale de producţie, de la nivelul de producţie analizat.

Costul marginal la o producţie oarecare poate fi definit ca fiind panta tangentei la curba costurilor totale, în punctul corespunzător.

Deoarece costul marginal variază odată cu nivelul de producţie la care este măsurat, se defineşte şi o funcţie a costului marginal şi ca urmare o curbă corespunzătoare a acestuia.

Pentru exemplificare, dacă funcţia costurilor totale de producţie este:

$$\pi(x) = ax^2 + bx + c,$$

atunci costul marginal ar fi:

$$\frac{d\pi(x)}{dx} = 2ax + b$$

În cazul specific al activităţii de producere a energiei electrice, costul marginal poate fi dat de acea unitate de profit care conduce la cel mai ridicat cost de producţie al energiei electrice.

Această unitate poate fi o centrală termică pe cărbune, o centrală pe hidrocarburi din import, o centrală nucleară.

Costul de producţie al energiei electrice cel mai ridicat se instituie ca fiind "cost marginal".

De la acest "cost marginal" trebuie să pornească baza de calcul pentru stabilirea tarifelor pentru preţul de livrare a energiei electrice.

Nivelul de plafon maxim instituit de "costul marginal" pentru energia electrică va determina astfel reperul pentru aprecierea volumului de economii faţă de costurile de producţie care s-ar putea înregistra la toate celelalte unităţi de producere a energiei electrice.

Este de precizat că "volumul de economii" înregistrat aparţine, de fapt şi de drept, proprietarului unităţilor de producţie, respectiv Statului şi numai Statul este în măsură să dispună asupra direcţiilor în care dirijează aceste economii.

În cazul în care unităţile de producere a energiei electrice ar fi în proprietate particulară, diferenţa între preţul energiei electrice determinat pe baza costului mariginal şi costul real de producţie ar reveni proprietarului, care ar plăti impozit pe profit Statului.

Legea trebuie să prevadă şi posibilitatea apariţiei unor unităţi de producţie cu caracter privat. Şi din acest punct de vedere adoptarea sistemului de analiză economică pe baza costului marginal ar fi salutară, deoarece ar încuraja iniţiativa privată la nivelul unităţilor de producere a energiei electrice.

Având în vedere că astăzi la noi Statul este proprietarul tuturor unităţilor de producere a energiei electrice din ţară, preţul de livrare a energiei electrice se va stabili pe bază de decizie politică şi adoptarea unui anume preţ de livrare mai mic decât cel dat de costul marginal va putea fi susţinut numai prin redistribuirea "volumului de economii" înregistrat de la restul unităţilor de producţie de energie electrică din ţară.

Ca urmare, pe facturile de livrare a energiei electrice la consumator vor trebui să apară distinct:

- preţul de livrare determinat pe baza costului marginal;
- nivelul de cost suportat prin redistribuirea "volumului de economii" înregistrat pe sistem;
- preţul rămas de plătit de către consumator.

În funcţie de evoluţia vieţii social-economice şi politice de la noi Statul va fi în măsură să stabilească ulterior, în etape succesive, nivelul de cost suportat prin redistribuirea "volumului de economii" şi pe bază de decizie politică să stabilească "preţul rămas de plătit de către consumator" pentru energia electrică livrată de sistem.

Concluzii

1. Adoptarea sistemului de analiză economică pe baza costurilor marginale se impune ca o consecinţă firească a specificului economiei de piaţă şi trebuie să facă obiectul unei decizii politice.

2. Nivelul de preţuri pentru energia electrică determinat pe baza costurilor marginale, trebuie să cuprindă 95 - 97 % din toatalul activităţii de producţie a centralelor electrice care compun Sistemul Energetic Naţional. Acele centrale electrice care nu se încadrează în nivelul de preţuri adoptat, urmează să fie subvenţionate, cu aprobare specială din partea Statului, sau oprite.

3. Sistemul adoptat trebuie să permită şi posibilitatea apariţiei unor unităţi de producţie cu caracter privat.

BIBLIOGRAFIE

[1] Allen, R.G.D. *Analiză matematică pentru economişti.* Editura Ştiinţifică, Bucureşti, 1971.

[2] Heyne, P. *Modul economic de gândire.* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1991.

[3] Kregel, I. şi alţii. *Şocul pieţei.* Editura economică, Bucureşti, 1995.

[4] x x x Revista *Energetica.* ICEMENERG. Bucureşti, 1994-1995

[5] x x x *Dicţionar de economie politică.* Editura politică, Bucureşti, 1974.

Pentru a permite un schimb larg de idei şi pentru a încuraja discuţiile constructive, se prezintă "în lanţ" articolul, comentarii la articol şi replica autorului.

Considerăm că această procedură este în interesul cititorilor.

Redacţia

Comentarii

Subiectul abordat de autor este deosebit de actual şi prezintă interes pentru analiza economică a proceselor de producere, transport şi distribuţie a energiei electrice.

În lucrare sunt o serie de neclarităţi:

1. În legătură cu definiţia costului marginal expunerea autorului trebuie amendată, ţinând seama de literatura de specialitate economică curentă. Trebuie să se precizeze la ce cost marginal se face referinţă (cost marginal pe termen scurt, cost marginal pe termen lung).

2. Costul marginal în cadrul procesului de producere a energiei electrice ţine cont de preţurile combustibililor (care reprezintă input-urile în proces) şi numai într-un caz particular poate reflecta costurile din procesele anterioare. Acest caz se referă la utilizarea preţurilor "umbră" pe întreg lanţul energetic dinaintea procesului de producere. Preţurile "umbră" sunt preţurile construite pe baza costurilor marginale pe termen lung.

3. Deciziile privind "promovarea procesului de producţie" (probabil nivelul producţiei) se iau pe baza analizei costului marginal şi a venitului marginal.

4. Definirea CM = $\frac{d\pi}{dx}$ este valabilă numai în cazul în care curbele costurilor sunt continue şi derivabile. Practica aceasta nu corespunde realităţii şi atunci se face apel la analiza costurilor incrementale. Exemplul dat nu este relevant. Dacă se doreşte totuşi păstrarea sa, trebuie precizat domeniul de definiţie.

5. Nu este clar ce înţelege autorul prin "volum de economii".

6. Nu este clar modul de întocmire a facturilor de livrare a energiei electrice (de exemplu, ce se înţelege prin "preţul rămas de plătit de către consumator").

7. Exprimarea de la pct.2 concluzii este complet neclară.

8. La ce sistem se referă la pct.3 din concluzii? La sistemul legislativ?

Pentru lămurirea unor concepte se recomandă cititorilor şi următoarele lucrări:

- Alan Hochstein - "*Microeconomics*" ed. Thomson Educational Publishing, Totonto, Canada, 1993
- Della Valle: - "*Short run versus Long run marginal cost pricing*", Ed. Energy Economics, 1988.
- Compania de Electricitate Ungară: "*Preparation of Electricity Tariffs in Hungary*" M.U.M., 1995

Având în vedere necesităţile energeticii româneşti şi tendinţele înregistrate pe plan mondial, sugerăm continuarea publicării în revista ENERGETICA a unor articole pe această temă.

ing. Florin Gugu - RENEL

x

x x

Transmit mulţumiri d-lui ing. Florin Gugu pentru analiza efectuată asupra articolului.

Explicarea nuanţelor semnalate în comentariile domniei-sale ar necesita un spaţiu mult prea mare faţă de dimensiunile lucrării prezentate, iar unele cerinţe privind sensul unor "neclarităţi" nu fac obiectul articolului de faţă.

Numai o lectură mai atentă atât a articolului, cât şi a comentariilor ar fi de natură să clarifice în mare parte aspectele semnalate.

Faptul că în prezent, în ţara noastră nu se practică "preţul pe bază de cost marginal" este de natură să genereze o serie de comentarii dintre cele mai diverse.

Ceea ce consider că este de o gravitate excepţională este faptul că la noi, în locul "preţului pe bază de cost marginal" se utilizează "preţul mediu", expresie a nepermisei rămâneri în urmă în gândirea noastră economică, sursă a risipei, a dezinteresului şi a nemobilizării factorilor de producţie pentru atingerea nivelului performanţelor mondiale în domeniu.

dr. ing. Dan Ion Predoiu

DISCUŢII

dr.ing. Gheorghe Luca - consilier ISPH şi HIDROCONSTRUCŢIA S.A.

• Propunem completarea Legii energiei (proiectul actual) cu două capitole:

1. Economia de energie electrică şi termică.

2. Valorificarea resurselor energetice regenerabile, în mod special micropotenţialul hidroenergetic, de către populaţie şi agenţi economici privaţi, măsuri stimulatorii care să ducă cel puţin la nivelul existent la începutul secolului (30 000 de unităţi în principal mori şi gatere), care în 1950 - 1955 a ajuns la 5 518 unităţi.

• Printre măsurile stimulatorii propunem să se stabilească:

- preţuri avantajoase de cumpărare a acestei producţii de energie (de exemplu în Elveţia această energie se cumpără cu 16 cenţi elveţieni, iar în Germania cu 11 cenţi americani);

- scutiri de taxe şi impozite, cel puţin temporar;

- precizări privind măsurile legate de protecţia mediului (de exemplu pentru Debitul de Servitute în Elveţia s-a fixat debitul care corespunde unei durate de 347 zile anual).

• Energia electrică produsă de unele termocentrale ne costă azi peste 250 lei/kWh din motive sociale; de ce n-am cumpăra energia electrică produsă de microhidrocentralele viitoare făcute de populaţie şi agenţi economici particulari cu preţuri similare, aşa cum se practică în Elveţia şi Germania, pentru micşorarea presiunii importului de combustibili şi poluării mediului ambiant ?

• În problema poluării produse de termocentrale, studiile se desfăşoară lent şi în ele nu se tratează problema cumulării în timp a efectelor pe ansamblu a acestor poluări şi prognozarea evoluţiei acestor efecte pentru generaţiile viitoare.

ing. Octavian Brânză - Direcţia Strategie Planificatre, RENEL

Necesităţi privind prevederi în legea energiei:

• Necesitatea ca statul să contribuie la stimularea producătorilor de energie pe baza resurselor regenerabile (eoliană, solară, geotermală).

• Factorii (ministere, regii etc.) care sunt obligaţi a face educaţia tinerei generaţii privind utilizarea cât mai eficientă a energiei.

• Cine, cum şi prin ce mijloace va controla respectarea strategiei generale energetice a guvernului, precum şi a acordurilor şi avizelor date producătorilor, transportatorilor şi distribuitorilor.

Legea să fie cât mai generală, ea solicitând să fie dezvoltate: standardizarea, procedurarea şi caietele cu sarcini generale.

ing. Ioan Catarig - deputat

Problema care se discută în cadrul mesei rotunde organizată de revista ENERGETICA este foarte actuală pentru ţara noastră, pentru că în acest moment apar ca necesare schimbări la nivel socio-economic.

Opiniile specialiştilor sunt de o mare importanţă pentru a constitui o bază logică în luarea deciziilor de către forurile abilitate. Considerăm că legea energiei electrice şi căldurii prin termoficare trebuie să aibă un loc central în legislaţia românească (de importanţa legii fondului funciar şi a legii privatizării), iar ţelul ei trebuie să rezulte clar: ***creşterea bunăstării tuturor cetăţenilor.***

Doresc să subliniez două aspecte ale energeticii româneşti:

1. Sunt partizanul privatizării în sectorul producerii energiei electrice şi căldurii, respectiv în ciclul considerat de la extragerea şi obţinerea agenţilor energetici primari: cărbune, ţiţei, gaze, apă etc. până la barele de emitere a energiei electrice şi căldurii ale centralelor electrice, termoelectrice şi a celor electrice de termoficare. Pentru transportul şi distribuţia energiei electrice se impune, în primul rând din motive de interes naţional şi pentru unificarea tehnică, un Sistem Electroenergetic Naţional unitar. Reţeaua de distribuţie şi alimentare directă a consumatorilor casnici sau economici trebuie să aibă posibilităţi de privatizare.

Am convingerea că dezbaterile, pe tema legii energiei, care au început încă din mai 1995 în cadrul Comisiei pentru industrie şi servicii a Camerei Deputaţilor şi care au continuat nu numai la nivelul acestei comisii, ci şi în diverse foruri de specialitate apolitice sunt deosebit de utile.

Este necesar, chiar dacă suntem în întârziere, ca dezbaterea acestei legi în fază de proiect să fie preluată cu responsabilitate şi cu probitate profesională de către specialiştii din producţie, consum, cercetare, proiectare, institute din învăţământ, asociaţii ale consumatorilor, Ministerul Industriilor, Regiile Autonome, care să-şi manifeste şi să-şi exprime opţiunile prin propuneri concrete.

2. Necesitatea ca România să aibă o lege a energiei electrice raţională, în concordanţă cu obiectivele sociale şi economice ale ţării implică o analiză profundă, o cercetare într-un institut naţional de gândire în domeniul energiei. Un astfel de institut nu există încă în prezent. Toate elementele strategiei

energiei - nu numai pentru energia electrică - trebuie corelate într-o gândire unitară în folosul României.

De aici trag concluzia că apare ca o necesitate imediată înfiinţarea unui institut naţional cu grad larg de independenţă, cu scopul ca el să gândească şi să prognozeze pe termen scurt şi lung toate acţiunile necesare unei dezvoltări durabile a ţării şi naţiunii noastre. Nu va fi normal ca o administraţie pasageră să impună "politici" proprii, ci acestea vor trebui să-şi însuşească politica energetică din interes naţional pentru România.

*

Cu regretul că nu am fost prezent efectiv la dezbateri rog ca părerile mele să fie inserate în numărul special şi subliniez faptul că iniţiativa revistei ENERGETICA - deşi vine cu o oarecare întârziere - reprezintă o asumare de răspundere profesională şi socială, demnă de remarcat.

dr. ing. Emil Costin - consilier ISPE

Aş dori să încep prin a saluta iniţiativa revistei "Energetica" de a supune discuţiei aspecte ale legistaţiei energetice. Cred că iniţiativa este cu atât mai oportună. cu cât în urmă cu aproximativ trei ani, din iniţiativa conducerii de atunci a RENEL a fost creat un grup de lucru pentru redactarea legii energiei. Dezbaterile, uneori aprinse, care au avut loc cu acea ocazie au scos în evidenţă unele principii a căror includere în legea energiei a provocat controverse.

În cele ce urmează, intenţionez să-mi prezint punctul de vedere asupra unuia din aspectele controversate, pe care îl consider ca punct nodal al întregii legi, în sensul că din opţiunile privind acest aspect decurg în mod logic toate prevederile esenţiale ale legii.

Acest aspect de esenţă este prevederea referitoare la proprietate în spaţiul energetic.

În regimul totalitar anterior, statul era proprietarul tuturor resurselor şi surselor de energie, a căror exploatare o asigura prin unităţi ce-i aparţineau. Acest monopol, extins asupra tuturor mijloacelor de producţie, deşi a fost teoretic înlăturat prin trecerea la economia pieţei libere şi reintroducerea proprietăţii private, dăinuie încă şi azi în multe domenii, printre care şi energetica, generând unele situaţii evident contraproductive.

Voi exemplifica: preţul unic pe ţară impus pentru electricitate şi căldură, este în fapt preţ de monopol. Dacă pentru electricitate monopolul este real, pentru căldură există posibilitatea unor surse alternative; ca urmare preţul de monopol aplicat în prezent clienţilor - agenţi economici îi determină pe unii din aceştia să apeleze la soluţia surselor proprii de căldură, mai avantajoase economic. Şi asta, în condiţiile în care furnizorii locali de căldură ar putea livra produsul la preţuri competitive.

Legea energiei, ca manifestare a voinţei politice a societăţii la un moment istoric dat, trebuie să dea un răspuns clar şi lipsit de echivoc problemei proprietăţii în energetică şi problemei exploatării instalaţiilor energetice. Din această definire urmează să decurgă liniile principale de desfăşurare a celorlalte prevederi legale.

Ţinând seama de rolul esenţial pe care îl joacă energia în toate domeniile vieţii societăţii, şi de faptul că acapararea bazei energetice în mâinile unor grupuri de interese poate influenţa hotărâtor evoluţia societăţii, consider că este necesară păstrarea bazei energetice în mâinele societăţii, ca proprietate publică.

Îşi poate asuma statul-proprietar şi rolul de întreprinzător, spre a valorifica baza energetică al cărei proprietar este?

Aici opţiunile multiple posibile pot fi grupate în două mari categorii:

- Opţiunile ce admit rolul de întreprinzător al statului - monopolizarea activităţilor energetice.

- Opţiunile ce neagă statului calităţi de bun gestionar, care creditează organizaţiile monopoliste ale statului cu tendinţa spre birocratizare, spre închistare, spre imobilism; acestea consideră necesară delegarea rolului de întreprinzător iniţiativei private.

Între aceste două grupe de opţiuni posibile există în prezent în lume multiple variante intermediare, datorate compromisurilor practicate între tendinţa de a inova pentru a spori eficienţa activităţii şi cea de a ţine seama de tradiţia deja existentă.

Trebuie remarcat că opţiunile de mai sus - atunci când se ajunge să se pună problema unei alegeri - depind în importantă măsură de situaţia concretă a momentului.

În situaţia actuală a energeticii româneşti, în care este necesară o opţiune clară în sensul menţionat, se observă cu claritate că menţinerea în continuare a structurii monopoliste îşi arată pe zi ce trece tot mai mult limitele în imposibilitatea de a reacţiona corect şi la timp faţă de stimulii şi semnalele economiei de piaţă. Totul se traduce în cheltuieli excesive în unele direcţii, în cheltuieli insuficiente în altele, toate conducând la funcţionări departe de optimul necesar.

În aceste condiţii, prevederi bine gândite ale unei legi a energiei ar putea pune stavilă voluntarismului care se mai manifestă şi azi în economia electroenergeticii, pe ici, pe colo prin părţile esenţiale, cum ar fi spus nenea Iancu.

Ca atare, sunt partizanul declarat al opţiunii care să determine statul, deţinător al bazei energetice, să delege exploatarea acesteia iniţiativei particulare, ce se

poate constitui în primul rând din personalul ce deserveşte instalaţiile - dar nu numai.

Rolul şi rostul principal al unei eventuale legi a energiei ar fi, în viziunea mea acela de a stabili cu rigurozitate atribuţiile, răspunderile şi avantajele ce revin părţilor în acest contract între deţinător şi cel ce face instalaţiile să funcţioneze (asigurând şi valorificarea produsului). Cred că o asemenea lege şi-ar justifica menirea şi ar contribui în mod semnificativ la orientarea către viitor a electroenergeticii româneşti.

ing. Gabriel Popescu - RENEL

În primul rând, doresc să subliniez utilitatea acestei mese rotunde organizate de revista "Energetica", care a permis un schimb larg de păreri între specialişti din diferite domenii. Cred că necesitatea promovării legii energiei a rezultat pregnant, de asemenea unele propuneri de care să se ţină cont la elaborarea acesteia.

Nu doresc să repet principalele idei din expunerea domnului Răzvan Purdilă, cu care am colaborat la diverse acţiuni care au condus la cristalizarea concepţiei RENEL privind structura optimă de organizare în perspectivă a sectorului electroenergetic. Desigur că legislaţia trebuie să reflecte politica statului în domeniul respectiv, deci este atributul Guvernului să opteze pentru structura care se integrează cel mai bine politicii sale generale.

Personal consider că modelul "cumpărător unic" corespunde cel mai bine etapei de perspectivă pe termen mediu prin îmbinarea tradiţiilor noastre culturale cu introducerea competiţiei în domeniul producerii energiei şi balansarea avantajelor şi riscurilor pentru compania de electricitate - cumpărător unic . Legislaţia ar trebui deci să reflecte această structură conceptuală, odată cu reglementarea clară a modului de stabilire a tarifelor şi introducerea obligativităţii realizării noilor capacităţi de producţie numai prin concesionare pe bază de licitaţie publică.

Referitor la unele idei exprimate de antevorbitori:

• Nu pot fi de acord cu domnul dr. ing. Gh. M. Luca că în analizele tehnico-economice centralele hidroelectrice - la care intervine investiţia pentru captarea apei - sunt dezavantajate în raport cu centralele termoelectrice pe cărbune - la care se consideră numai preţul de achiziţie al acestuia, nu şi "consumul de energie pentru extragere şi transport care ar trebui inclus la consum intern". Într-o economie de piaţă acest cost este inclus în preţul de vânzare; numai dacă se face o analiză energetică pe întreg lanţul de extracţie-transport-conversie - transport - utilizare pentru determinarea randamentului global intervin aceste consumuri. Reciproc, dacă un alt agent economic realizează captarea apei şi o furnizează RENEL la un anumit preţ pentru producerea energiei electrice, în evaluarea eficienţei proiectului prin costul unitar actualizat al energiei produse intervin numai investiţia energetică proprie şi preţul apei. Subliniez, de asemenea, că impactul asupra mediului produs de centralele termoelectrice este considerat prin costurile de investiţii şi exploatare pentru încadrarea în norme (FGD, tratare ape la restituţie, depozite zgură şi cenuşă, monitoring etc.).

• Domnul ing. Predoiu s-a referit la costurile marginale pe termen scurt şi este întru totul justificat şi în intenţia noastră, ca la baza stabilirii tarifelor să stea costurile marginale, însă avem în vedere costurile marginale pe termen lung, care includ şi costurile de dezvoltare.

Ajungem astfel la ecuaţia preţuri - costuri prezentată în două forme de dl. dr. ing. Jean Constantinescu, care este esenţială pentru asigurarea viabilităţii companiei de electricitate. Preţurile energiei electrice trebuie să constituie un semnal corect pentru consumatori, care să incite la creşterea eficienţei energetice. Reducerea costurilor de producere, transport, distribuţie este apanajul companiei de electricitate sub controlul regulatorului/guvernului sau al pieţii. Este de menţionat faptul că, în viitor costurile vor fi determinate în primul rând de soluţiile de dezvoltare care se adoptă acum. De aici şi necesitatea definirii clare în lege a rolului diverşilor actori şi a procedurilor de urmat pentru asigurarea furnizării energiei electrice la costul cel mai redus pentru societate.

Mark Velody - consilier Ministerul Industriilor

În cadrul Ministerului Industriilor se elaborează planuri de promovare a "Legii utilizării raţionale a resurselor de energie". Aceasta nu se confundă cu "Legea energiei", deoarece se referă doar la partea de cerere de energie, neincluzând şi partea de alimentare.

Legea încearcă să rezolve problema intensităţii energetice din România, care a fost estimată a fi de 3 - 5 ori mai mare decât în ţările din vestul Europei.

Această lege urmăreşte să stabilească un cadru legal şi respectiv instrumente legale pentru atingerea următoarelor obiective:

a - creşterea eficienţei utilizării energiei în România;

b - îmbunătăţirea competitivităţii economice a României, în contextul unei dezvoltări durabile;

c - reducerea necesităţii importurilor de combustibili primari;

d - îmbunătăţirea securităţii furnizării de energie;

e - reducerea impactului poluant al consumului de energie asupra mediului;

f - îmbunătăţirea calităţii serviciilor energetice care deservesc populaţia României.

Dar ce înseamnă aceasta ? Datorită acestei legi, România va putea să realizeze aceste tipuri de acţiuni în viitor, cum ar fi:

- obligativitatea importatorilor, fabricanţilor şi vânzătorilor de frigidere şi alte aparate de răcire, să realizeze sau să vândă aparate eficiente din punct de vedere energetic;

- standarde pentru izolarea noilor clădiri;

- necesitatea ca marii consumatori energetici să angajeze un manager specializat în domeniul energetic;

- necesitatea ca administraţiile judeţene să aibă un plan al eficienţei energetice la nivel de judeţ/municipiu;

- necesitatea de perspectivă ca noile apartamente să fie dotate cu contoare termice individuale;

- stimulente fiscale (reduceri) acordate importatorilor sau fabricanţilor de becuri eficiente energetic, instalaţii de izolare etc.;

- respectarea standardelor de izolare termică a noilor clădiri (proiectul legii conţine şi un capitol referitor la surse noi de energie, dar acesta se poate elimina şi introduce în legea energiei).

Având în vedere că aceste exemple împiedică toate sectoarele de activitate - nu numai cele din industrie - se cere de urgenţă formarea şi împuternicirea unui grup interministerial format din reprezentanţi ai consumatorilor, ai specialiştilor, ai municipalităţilor, ai furnizorilor de energie etc., precum şi ai Ministerelor Industriilor, Protecţiei Mediului, Lucrărilor Publice, Finanţelor, Agriculturii, Transporturilor etc.

O altă cerinţă ar fi crearea unei echipe de specialişti - fie a unui organism, fie, dacă se poate, a unei secţii a ARCE, care să realizeze activitatea de zi cu zi în numele echipei interministeriale.

În finalul proiectului de lege se face referire la aspectul financiar. Aceasta este o problemă cheie, deoarece, deşi investiţiile pentru eficienţa energetică reprezintă, fără îndoială, o criză majoră de a îmbunătăţi competitivitatea economică, ea nu este bine cunoscută în România. Mesajul "eficienţa energetică produce bani" trebuie transmis pe scară largă.

dr. ec. ing. Adrian D. Popescu Necşeşti - consultant în management , senator

Vă mulţumesc că m-aţi invitat, îmi aduc aminte cu mare emoţie de prezenţa mea în această sală acum 30 de ani. Aş vrea să vă spun numai câteva lucruri de pe poziţia celor care se presupune că sunt profesionişti în redactarea, dar de fapt mai mult în votarea, legilor.

În aceşti aproape patru ani de activitate legislativă m-a impresionat, dar mai corect m-a îngrozit cantitatea imensă a legilor care au fost votate. De aceea mi-aş permite să mă opresc puţin asupra conceptului de **calitate a legii.** Noi ştim că încă nu s-a descoperit unitatea de măsură pentru calitatea muncii intelectuale, că se desfăşoară în continuare cercetări în domeniu şi că şi legea este tot un produs al activităţii intelectuale. De aceea, în etapa actuală încercăm să găsim o unitate de măsură a calităţii legislativului românesc. Eu cred că în etapa actuală satisfacerea clientului nostru - stăpânul nostru care are întotdeauna dreptate - în speţă electoratul, poate fi cel mai bine măsurată prin gradul în care legile noastre se află în concordanţă cu standardele europene. Este vorba şi de faptul că 90 % din populaţie este de acord să ne integrăm euroatlantic, ceea ce ne obligă să ne apropiem cât mai mult de standardele internaţionale ale acestui spaţiu geografic.

Pentru a reuşi, trebuie să luptăm însă, pe de o parte cu un reziduu de mentalitate dirijistă, şi pe de altă parte cu obsesia unui vid legislativ, deci cu o abordare vetustă. Sigur că trebuie bine cântărit care trebuie să fie anvergura legii, cât de adâncă trebuie să fie preocuparea de a reglementa prin lege. Pentru a ne putea apropia de adevărata calitate a legii, un lucru extraordinar de important este - aşa cum s-a arătat - prioritatea stabilirii filosofiei legii şi numai apoi să îi redactăm textul, care corespunde numai în măsura în care contribuie - direct sau indirect - la atingerea obiectivelor, sub formă de rezultate, stabilite în prealabil, în cadrul strategiei elaborate.

De ce ne trebuie mai cu seamă în domeniul energiei electrice, calitate, în filosofia pe care o punem la baza reglementării prin lege? Pentru că, de mai mulţi ani, se pune în discuţie concepţia generaţiei Rosevelt de a măsura progresul societăţii prin produsul intern brut (PIB), de a o măsura monetar. Îndoieli cu privire la reprezentativitatea acestui indicator sunt din ce în ce mai prezente în literatura de specialitate. O confirmare a acestor îndoieli a apărut şi în ţările Europei centrale şi răsăritene atunci când s-a constatat că, fără excepţie, în toate aceste ţări postcomuniste, prăbuşirea producţiei este mult mai importantă decât scăderea consumului de energie electrică.

Astăzi se propune a se înlocui PIB pe cap de locuitor cu un alt indicator, de pildă GPI, Genuine Progress Indicator, care apare ca fiind un indicator ce măsoară adevăratul progres, pentru că include şi munca la negru şi activitatea în gospodăriile particulare, şi munca voluntară în comunităţi, acestea reprezentând, de fap, criterii de o deosebită importanţă în aprecierea progresului economic şi social al societăţii. SUA este printre ţările care până în prezent înregistrează o creştere continuă a PIB pe cap de locuitor, dar acest nou

indicator, GIP, ca şi alţi noi indicatori sociali luaţi în considerare în cercetările efectuate până acum, arată că, în SUA, vârful progresului economic şi social ar fi fost atins de fapt în 1965 şi că de atunci SUA se află în declin.

Pe de altă parte, declinul economic şi social poate fi constatat în mod nemijlocit în ţările din centrul şi răsăritul Europei, în ţările postcomuniste, respectiv şi în România, în pofida unor creşteri aparente ale PIB. Consiliul Naţional de Statistică din ţara noastră spune că economia subterană ar reprezenta 20 % din PIB, S.R.I.-ul spune că ar reprezenta 35 - 45 %, iar primul ministru spune că cifra este mult mai mare, de 45 %. Deci, iată, problema unităţii de măsurare a progresului economic şi social este una de mare actualitate.

Preocuparea pentru legiferare în domeniul energiei electrice trebuie să aibă o perspectivă. Se conturează, după ultimele cercetări, că indicatorul măsurabil al progresului social ar putea fi, cu cea mai mare probabilitate, în viitor, consumul de energie electrică. De aceea trebuie să abordăm problema legislaţiei energetice cu raspundere, cu viziune, să nu ne lăsăm influenţaţi de prejudecăţi, de superstiţii.

Vă mulţumesc pentru atenţie.

Cuvânt de încheiere

dr. ing. Nicolae Liciu - moderator

În legătură cu unele puncte de vedere exprimate în cadrul mesei rotunde, aş dori să punctez doar câteva idei:

1. Personal nu consider că este cazul ca RENEL (sau o eventuală Companie Naţională de Electricitate) să deţină monopolul distribuţiei energiei electrice în România.

Amintesc că EdF distribuie numai 96 % din energia electrică din Franţa . Cu atât mai mult, consider că situaţia din România (în principal, existenţa unor mari platforme industriale proiectate integrat şi în prezent în proces de restructurare şi divizare) impune ca o parte din energia electrică să fie distribuită de alţi agenţi economici decât RENEL. De altfel, aceasta este şi în prezent situaţia în portul Constanţa, pe fosta platformă IMGB şi în alte zone.

2. S-au făcut aici referiri la utilizarea indicatorului produs intern brut pe locuitor pentru comensurarea dezvoltării economico-sociale a unei ţări. Aş dori să precizez că, în ultimii ani, dezvoltarea economico-socială a diferitelor ţări se reflectă sintetic prin indicatorul dezvoltării umane (IDH), compus, în proporţie egală, pe baza speranţei de viaţă a cetăţenilor ţării respective, nivelului de educaţie şi venitului acestora. Acest indicator este calculat pe baza unei metodologii de ierarhizare a naţiunilor, elaborată de ONU prin Programul Naţiunilor Unite pentru Dezvoltare (PNUD).

În corelaţie cu IDH, dintr-un total de 173 de ţări luate în considerare de PNUD în anul 1994, România a ocupat locul 72, celelalte ţări din regiune situându-se pe locuri mai bune: fosta Cehoslovacia - locul 27, Ungaria - 31, Bulgaria - 48, Polonia -49 [1].

3. Referitor la sintagma "perioada de tranziţie" menţionată aici de unii vorbitori, aş dori să arăt că prefer conceptul "proces de transformare sistemică", utilizat de specialiştii în economie [2].

Această transformare este standardizată în prezent de ştiinţa economică şi are următoarele şapte componente: privatizarea şi restructurarea; liberalizarea comerţului exterior; liberalizarea preţurilor; macrostabilizarea; liberalizarea pieţei financiare interne; liberalizarea fluxului de capital, reforma legislativă şi instituţională.

---

[1] NICOLAE LICIU, "Energetica românească şi cerinţele integrării în Uniunea Europeană", în "Utilizarea eficientă a energiei" nr. 21 - 22/3, 4 - 1995, pag. 5 - 10.

[2] NICOLAE NISTORESCU, "Sectorul particular ar putea deveni nucleul viitoarei clase de mijloc", în "Adevărul", 13 martie 1996.

СОДЕРЖАНИЕ

ВИРДЖИЛ МУШАТЕСКУ, НИКОЛАЕ ЛИЧУ: Представление беседы за круглым столом 105
ПАУЛ КАРТИАНУ: Анализ энергетического законодательства в предвоенной Румынии 107
ДЖЕОРДЖЕ ШТ. ПАНАИТЕСКУ: Тарифы на электроэнергию в контексте энергетического законодательства (1920-1940) 111
РАЗВАН ПУРДИЛЭ: Переустройство и энергетическое законодательство. Дилеммы и возможные для Румынии решения 115
ЖЕАН КОНСТАНТИНЕСКУ: Предпочтения по организации рынка электроэнергии в Румынии - общественное обслуживание, интеграция, соревнование 121
ГЕОРГЕ ИНДРЕ: Принципы и дополнительные аспекты при разработке энергетического законодательства 126
ИОН ИОРДЭНЕСКУ: Актуальные вопросы отношений поставщиков и потребителей электроэнергии в рыночной экономике 130
ОИДИУ ЦУЦУЯНУ: Влияние законодательства по охране окружающей среды на энергетический сектор 134
МАРИН ВИКТОР, ЕЛЕОНОРА АТАМАН: Влияние ТЭС на окружающую среду 139
ГЕОРГЕ ЛУКА: Аспекту энергетического законодательства на пользование гидроэнергетическими сооружениями 143
ДАН ИОН ПРЕДОЮ: Побочная стоимость - существеный ориентир оценки производственной деятельности 146
БЕСЕДЫ 149-153
ИНФОРМАЦИИ 114, 120

SOMMAIRE

VIRGIL MUŞATESCU, NICOLAE LICIU: Présentation de la Table Ronde 105
PAUL CARTIANU: Analyse de la législation dans le domaine de l'énergie dans la période d'entre-deux-guerres 107
GEORGE ST. PANAITESCU: Les tarifs de l'énergie électrique dans la période d'entre-deux-guerres dans le contexte de la législation énergétique (1920-1940) 111
RAZVAN PURDILĂ: Restructuration et législation énergétiques. Dilemmes et solutions possibles pour la Roumanie 115
JEAN CONSTANTINESCU: Options d'organisatiopn du marché de l'électricité en Roumanie - le service public, intégration, compétition 121
GHEORGHE INDRE: Principes et aspects a prendre en compte dans un projet de loi de l'énergie 126
ION IORDĂNESCU: Problemes actuels des relations fournisseur-consommateur d'électricité dans une économie de marché 130
OVIDIU ŢUŢUIANU: L'impact de la legislation de l'environnement sur le secteur électrique 134
MARIN VICTOR, ELEONORA ATAMAN: L'impact des centrales thermiques sur l'environnement 139
GHEORGHE LUCA : Aspects de la législation énergétique par rapport aux usages des aménagements hydro-électriques 143
DAN ION PREDOIU: Le cout marginal, un élément essentiel pour évaluer l'activité de production 146
ALLOCUTIONS 149-153
INFORMATIONS 114,120

CONTENTS

VIRGIL MUŞATESCU, NICOLAE LICIU : Outlook on the round table 105
PAUL CARTIANU : A study on the Romanian energy legislation between the two world wars 107
GEORGE ST. PANAITESCU: Electricity tariffs between the two world wars, in the energy legislation context (1920 - 1940) 111
RĂZVAN PURDILĂ: Energy legislation and reorganization. Dilemmas and possible solutions for Romania 115
JEAN CONSTANTINESCU: Options for the Romanian electricity market organization - public service, integration, competition 121
GHEORGHE INDRE : Principles and aspects that must be considered in an energy law project 126
ION IORDĂNESCU: Current problems related to the electricity suppliers - end-users relations in the market economy 130
OVIDIU ŢUŢUIANU: The impact of the environmental law over the energy sector 134
MARIN VICTOR, ELEONORA ATAMAN: The TPPs'impact on the environment 139
GHEORGHE LUCA: Aspects on the energy law function related to the hydro project benefits 143
DAN ION PREDOIU : The marginal cost - a major premise for assessing the manufacturing process 146
DEBATES 149-153
NEWS 114,120

INHALT

VIRGIL MUŞATESCU; NICOLAE LICIU: Vorstellung des Gesprächs am runden Tisch 105
PAUL CARTIANU: Analyse der Gesetzgebung im Energiebereich in Rumänien in der Zeit zwischen den zwei Weltkriegen 107
GEORGE ST. PANAITESCU: Die Stromtarife in der Vorkriegszeit (1920 - 1940) im Rahmen der energiewirtschaftlichen Gesetzgebung 111
RĂZVAN PURDILĂ: Die Umstrukturierung und die energiewirtschaftliche Gesetzgebung. Dilemmas und mögliche Lösungen fur Rumänien 115
JEAN CONSTANTINESCU: Optionen zur Organisation des Energiemarktes in Rumänien: der öffentliche Dienst, die Integration, der Wettbewerb 121
GHEORGHE INDRE: Grundsätze und zu berücksichtigende. Aspekte bei des Ausarbeitung eines Entwurfs des Energiegesetzes 126
ION IORDĂNESCU: Aktuelle Fragen der Beziehungen zwischen dem Stromlieferanten und den Stromverbrauchern in der Marktwirtschaft 130
OVIDIU ŢUŢUIANU: Die Einwirkung der Umweltschutz-Gesetzgebung auf den Energiebereich 134
MARIN VICTOR, ELEONORA ATAMAN: Die Umweltbelastung durch die Wärmekraftwerke 139
GHEORGHE LUCA: Die Aspekte der energie-wirtschflichen Gesetzgebung im Zusammenhang mit der Nutzung der Wasserkrafteinrichtungen 139
DAN ION PREDOIU: Die Randkosten - ein wesentlicher Richtwert bei der Einschätzung der Produktionstätigkeit 146
BESPRECHUNGEN 149-153
INFORMATIONEN 114, 120

ORSZÁGOS MŰSZAKI KÖZPONTI KÖNYVTÁR

Romania
RENEL
Romanian Electricity Authority

MINISTRY of INDUSTRIES

MINISTRY of RESEARCH and TECHNOLOGY

GSCI

ROMANIAN NATIONAL COMMITTEE of the WORLD ENERGY COUNCIL

Every 2 years we organize the most important event of the Romanian power engineering community with the benefit of an international participation

NATIONAL ENERGY CONFERENCE - CNE '96

September 2-5, 1996
Neptun, ROMANIA

"Improving Energy Efficiency in a Transition Economy"

CONFERENCE SECTIONS

1. Energy Policies and Strategies. Financing of energy industries.
2. Clean and Efficient Fossil Fuel Technologies. Renewables.
3. Rehabilitation/Retrofitting of Energy Facilities :
   a) electric power plants
   b) networks
4. Nuclear Energy.
5. Predictive and Preventive Maintenance Technologies for Energy Equipment.
6. Management and Process Information Systems.
7. Environment Conservation.
8. Energy Uses.

In the Program:

- Plenary session and sections
- Poster sessions
- Round tables
- Screening of technical and advertising films
- Exhibition
- Associated events :

a) ***"Balkan Energy Industries. Trends and Goals"*** Symposium
b) USA - Romania Seminar on ***"Technical and Economic Impacts of Open Transmission Systems"***
c) Meeting of the Central and East European Group of the WEC - W/E Program

Further information and documentation available from:

the CNE '96 Secretariat
c/o GSCI
8, Energeticienilor Blvd.
79619 Bucharest 3, Romania
Tel: +401 321 44 65
Fax: +401 321 44 65
+401 321 10 10

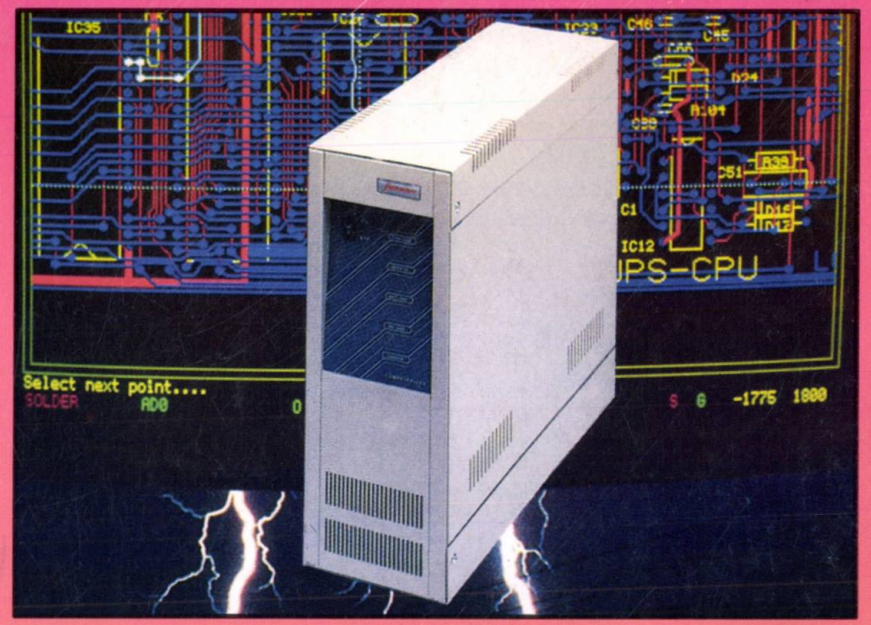
Contact persons:
Mr. Corneliu Stefanescu / Mrs. Justina Nicolau

With the kind support of :
Synergy Programme (DGXVII) of EC
USAID through USEA's UPP

RO SHANDY s.r.l.

TEL.: 0040/1/746.05.67
TEL./FAX: 0040/1/312.95.10
BUCUREŞTI sector 6,
BD. TIMIŞOARA 39, bl. 36, ap.11

15 KW generating plant with 3000 rpm Lombardini motor



Societatea româno-italiană **RO SHANDY SRL** a fost creată ca societate mixtă cu parteneri italieni producători de echipamente electronice. Societatea funcţionează în domeniile: comerţ, producţie, proiectare, service pe echipamente fabricate în ITALIA.

Echipamentele pe care le oferim sunt următoarele:

- **SURSE DE ALIMENTARE NEÎNTRERUPTĂ** (UPS) în gama 100W...26kVA cu aplicaţii de alimentare a calculatoarelor şi reţelelor de calculatoare, sisteme de telecomunicaţii, centrale digitale, aparatură medicală, procese automatizate.
- **INVERTOR+REDRESOR** gama 500 VA.....800 kVA cu aplicaţii industriale, navale etc.
- **INVERTOARE SPECIALE** 110 Vc.c./220 Vc.a. şi 220 Vc.c./220 Vc.a. pentru staţii electrice RENEL.
- **STABILIZATOARE C.A** mono şi trifazate 300 W.....100 kVA.
- **REDRESOARE** cu microprocesor pentru încărcarea bateriilor.
- **CONVERTIZOARE TRIFAZATE c.a./c.c.** reversibile, cu recuperare de energie în reţea, controlate cu microprocesor.
- **CONVERTIZOARE STATICE DE FRECVENŢĂ FIXĂ** în gama 45...400 Hz şi puteri 1...600 kVA.
- **CONVERTIZOARE STATICE DE FRECVENŢĂ VARIABILĂ** pentru acţionarea motoarelor asincrone, monofazate şi trifazate, cu microcontroler şi control de câmp cu puteri 0,75....110 kW.
- **DEMAROR DE MOTOARE ASINCRONE**
- **GRUPURI ELECTROGENE** cu motoare IVECO AIFO, CUMMINS, PERKINS, VOLVO PENTA, SAME, VM, LOMBARDINI, LISTER PETTER, cu gama între 2...1400 kVA, răcire cu apă sau aer insonorizate, mobile sau construite în bază fixă.

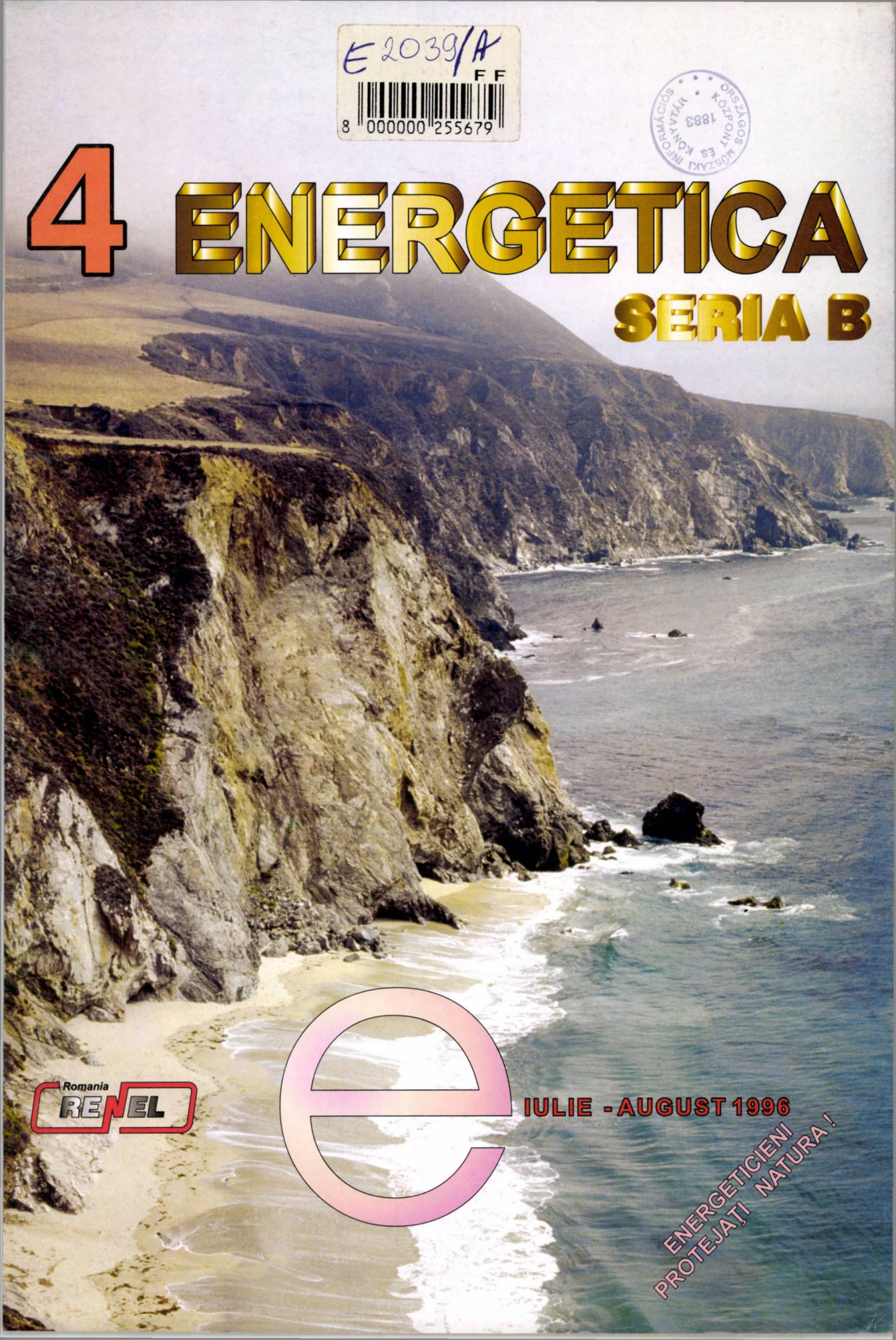
Întreprinderea producătoare italiană ***SHANDY*** este atestată ISO 9001, iar produsele sunt omologate de institutul german FACHAUSSCHUB ELEKTROTECHNIK.

E 2039/A
FF
8 000000 255679

INFORMÁCIÓS KÖZPONTI ÉS KÖNYVTÁR
ORSZÁGOS MŰSZAKI
1883

4 ENERGETICA

SERIA B



Romania RENEL

IULIE - AUGUST 1996

ENERGETICIENI PROTEJAȚI NATURA!

Proven solutions for optimum performances

ABB Energoreparaţii Romania Ltd.
Bucharest

ABB Power T&D Ltd.
Bucharest

ABB Rometrics Ltd.
Timişoara

ABB Romania Ltd.
16, Ion Cîmpineanu street
70100 Bucharest

ABB

ENERGETICA

REVISTA DE SPECIALITATE
A ENERGETICIENILOR
DIN ROMÂNIA

ANUL 44 | Nr. 4, SERIA B | IULIE - AUGUST 1996

ISSN 1220 - 5141

Număr special "Echipament electroenergetic. Solicitări şi soluţii"

Revista ENERGETICA a fost înfiinţată în anul 1953, continuând tradiţia vechilor publicaţii inginereşti care au avut preocupări în domeniul energiei ca, de exemplu:
- Diaru pentru vulgarizarea ştiinţelor naturale şi fizice (1870 - 1882);
- Buletinul Societăţii Politehnice (1887 - 1944);
- Buletinul Asociaţiei Generale a Inginerilor din România - AGIR (1919 - 1946);
- ENERGIA, editată de ing. Dumitru Leonida (1921);
- Buletinul Asociaţiei Producătorilor şi Distribuitorilor de Energie Electrică - APDE (1932 - 1944);
- Buletinul Institutului Român de Energie - IRE (1933 - 1944)

Opiniile exprimate în articolele publicate în revista ENERGETICA aparţin autorilor acestora.

Orice reproducere integrală sau parţială, prin indiferent ce procedeu, a materialelor apărute în revista ENERGETICA poate fi făcută numai cu aprobarea biroului de redacţie. Sunt autorizate numai citările destinate lucrărilor ştiinţifice şi volumelor în care acestea sunt inserate.

Revista apare alternativ în două serii :
- seria A, care tratează probleme de surse de energie, conversie de energie, poluare a mediului înconjurător, utilizare a căldurii etc.;
- seria B, care tratează probleme electrice, inclusiv ale centralelor electrice, staţiilor electrice, ale liniilor de transport şi distribuţie a energiei electrice , sisteme electroenergetice etc.

Fiecare serie are 6 numere pe an .

CUPRINS

PETER SIMION: Noi realizări şi tendinţe în domeniul fabricaţiei şi retehnologizării turbogeneratoarelor 157

MARIUS CONSTANTINESCU: Solicitări torsionale în funcţionarea turboagregatului de 800 MVA de la CNE Cernavodă 164

CONSTANTIN MOLDOVEANU, CONSTANTIN RADU, VIOREL GRIGORIU, VLAD ROŞCA: Soluţie pentru evitarea defectării înfăşurării terţiare la autotransformatoarele de 200/200/60 MVA 231/121/10,5 kV la scurtcircuite monofazate în reţele de 110 kV şi 220 kV 172

ROMULUS SFICHI: Calculul de dimensionare a unei instalaţii de filtrare - compensare în ipoteza egalităţii inductanţelor bobinelor circuitelor filtrante 180

PAUL SVASTA, VIRGIL GOLUMBEANU, DANIEL LEONESCU: Solicitarea electrică a condensatoarelor 183

IOAN ANDREICA, LAUREAN PREDA, DANIELA POPESCU: Unele aspecte ale managementului reţelelor electrice de distribuţie cu ajutorul gestiunii grafice 189

INFORMAŢII

VIOREL TITIHĂZAN, VIOREL NEGRU, MARIANA TITIHĂZAN: Ecranarea electromagnetică a laboratoarelor de înaltă tensiune - cerinţă esenţială în contextul compatibilităţii electromangnetice 193

COSTIN RUCĂREANU: Alimentarea cu energie electrică a tunelului de sub Marea Mânecii 196

Our review publishes ADVERTISMENTS for your PRODUCTS, TECHNOLOGIES, SERVICES, etc.

Please, contact us at the address:
Revista ENERGETICA
GSCI, B-dul Energeticienilor nr.8,
Bucureşti III, RO 79619
Phone : (401)321 69 66/149
Fax: (401)321 44 65
Telex: 10783

COLEGIUL DE REDACŢIE

BIROUL: dr. ing. Eugeniu PAVEL - preşedinte, redactor-şef; dr. ing. Jean CONSTANTINESCU - redactor-şef adjunct; prof. dr. ing. Dumitru Cezar IONESCU - redactor-şef adjunct; ing. Vasile RUGINĂ - secretar de redacţie; ing. Radu OPINCARU; ing. Ion CONECINI; ing. Vladimir CONSTANTINESCU; conf. dr. ing. Virgil MUŞATESCU ; ing. Dan GHEORGHIU; ing. Nicolae NICULESCU; ing. Mihai NICOLAU; dr. ing. Ioan GANEA

MEMBRI: conf. dr. ing. Florin ALEXE; ing. Ovidiu APOSTOL; prof. dr. ing. Victor ATHANASOVICI; prof. dr. ing. Adrian BADEA ; prof. dr. ing. Cornel BIANCHI; ing. Paul CARTIANU; ing. Mircea CÂRDU; ing.Radu CONSTANTIN; prof. dr. ing. Dorin CRISTESCU; prof. dr. ing. Nicolae DĂNILĂ; dr. ing. Laurenţiu GOIA; prof dr. ing. Nicolae GOLOVANOV ; prof. dr. ing. Dumitru IVAS; prof. dr. ing Aureliu LECA; dr. ing. Gheorghe LUCA; dr. ing. Magdalena MATEI; ing. Cornel MOŢIU; prof. dr. ing. Costin MOŢOIU ; prof. dr. ing. Constantin NEAGA; prof. ing. Mircea NEMEŞ; prof. dr. ing. Valeriu NISTREANU; ing. Cornel PÂSLARU; prof. dr. ing. Alexandru POEATĂ; dr. ing. Marius POMÂRLEANU; prof. dr. ing. Florin POP; dr. ing. Teodor POPA; dr. ing. Anca POPESCU; ing. Miron POPESCU; conf. dr. ing. Petre POSTOLACHE; dr. ing. Dan Ion PREDOIU; ing. Radu REGMAN; dr. ing. Gabriel ROMAŞCU; ing. Anton ROŞU ; ing. Margarios SALGIAN; ing. Alexandru SĂNDULESCU; ing. Emilian SIMIAN; ing. Cristian TOTOLO; ing. Anton VLĂDESCU

Redactor : Ana Maria CHIVU

Editat cu sprijinul Ministerului Cercetării şi Tehnologiei - Colegiul Consultativ pentru Cercetare Ştiinţifică şi Dezvoltare Tehnologică

Redacţia şi administraţia: GSCI, B-dul Energeticienilor nr.8, sector 3, CP 79619, Bucureşti
Telefon: (401)321 69 66/149; Telex : 10783; Fax: (401)321 44 65

Tiparul executat la GSCI

NOI REALIZĂRI ŞI TENDINŢE ÎN DOMENIUL FABRICAŢIEI ŞI RETEHNOLOGIZĂRII TURBOGENERATOARELOR

PETER SIMON
Vicepresident ABB Romania

În ultimii 25 de ani progresele înregistrate în domeniul turbogeneratoarelor s-au caracterizat prin creşterea continuă a puterii unitare. În prezent, atenţia s-a concentrat asupra îmbunătăţirii tehnologiilor, pe baza analizei aprofundate a bogatei experienţe de exploatare disponibile în prezent.

Dezvoltarea s-a orientat tot mai mult spre creşterea disponibilităţii şi siguranţei în funcţionare a turbogeneratoarelor. În această direcţie se remarcă utilizarea conductoarelor elementare tubulare din oţel inoxidabil la înfăşurările statorice răcite cu apă şi realizarea de turbogeneratoare răcite cu aer, având puteri unitare până la 300 MVA.

During the past 25 years, progress in design of large turbogenerators has been marked by continuos increase in the units rating. Today the development has swung over to consolidation of the technology on the basis of the extensive fund of operating experience which is now available.

Development emphasis is directed more and more toward further increasing of the availability and reliability of the machines. In these direction remarkably are the use of stainless steel hollows in water cooled stator windings, and the new air-cooled turbogenerator in the 300 MVA class.

Descriptori: turbogeneratoare, fabricaţie, retehnologizare

În anul 1901 Charles Brown a realizat primul turbogenerator bipolar. De atunci, timp de aproape 100 de ani, generaţii de ingineri şi oameni de ştiinţă au adus contribuţii remarcabile în direcţia perfecţionării şi creşterii puterilor unitare.

În ultimul deceniu, puterile unitare maxime au stagnat la valori situate sub 1500 MVA şi preocupările s-au concentrat pe problemele legate de creşterea disponibilităţii, îmbunătăţirii randamentelor şi în fine, deşi nu pe ultimul plan, pe scăderea costurilor de fabricaţie. În paralel cu activităţile axate pe fabricaţia de generatoare noi, în ultima vreme au căpătat o pondere importantă şi activităţile legate de reabilitarea turbogeneratoarelor, urmărindu-se cu această ocazie, atât prelungirea duratei de viaţă, cât şi îmbunătăţirea sensibilă a performanţelor.

În timpul celor aproape 100 de ani scurşi de la apariţia primului turbogenerator bipolar, se pot desprinde câteva momente, care marchează principalele salturi în tehnologia realizării lor, şi anume:

♦ Primul turbogenerator bipolar din lume avea o putere de 250 kVA; la acesta se întâlnesc deja cele trei caracteristici constructive principale care se regăsesc şi în prezent la turbogeneratoare:

• rotorul realizat sub forma unui cilindru masiv din otel, având:

- înfăşurările plasate în crestături practicate în rotor;
- cape metalice, pentru preluarea forţelor centrifuge, la capetele bobinelor rotorice.

♦ În 1947 se realizează primul turbogenerator de 125 MVA, răcit cu hidrogen.

♦ În 1955 se aplică sistemul de răcire directă, cu hidrogen, a rotorului.

♦ În anul 1957 se realizează răcirea cu ulei a înfăşurărilor statorice.

♦ În 1961 se fabrică primul generator, de 400 MVA, cu înfăşurări statorice răcite cu apă.

♦ În anul 1966 se aplică răcirea cu apă, atât a înfăşurărilor statorice, cât şi a celor rotorice.

Puterile unitare ale turbogeneratoarelor au crescut continuu, în strânsă corelare cu progresele tehnologice, ca spre exemplu, transpoziţia barelor brevetată de Roebel în 1919, cu descoperirea de materiale electroizolante de calitate superioară şi în special cu dezvoltarea sistemelor, tot mai perfecţionate, de răcire.

Făcând o comparaţie între primul generator de 0,250 MVA şi generatoarele existente de 1400 MVA, se constată că, dacă puterea unitară a crescut de 5600 ori, volumul maşinii s-a mărit numai de 40 ori.

Condiţii limitative privind puterea unitară

Pe baza relaţiilor generale se pot deduce valorile parametrilor care definesc limitele mecanice şi electrice realizabile.

Puterea aparentă S a unei maşini electrice [9] poate fi exprimată prin relaţia:

$$S = k D^2 L B n ,$$

unde:

k este un factor numeric,
D - diametrul rotorului,
L - lungimea activă,
B - inducţia în întrefier,
n - viteza de rotaţie.

Mărimea rotoarelor, respectiv diametrul D şi lungimea activă L a acestora, sunt esenţial determinate de valorile eforturilor admisibile ale materialelor utilizate. Referitor la diametrele rotoarelor se constată ca valoarea acestora este condiţionată de eforturile admisibile în cape. La 3000 rot/min, valoarea maximă a diametrului acestora este de 1280 mm, dar, în prezent, se poate afirma cu siguranţă că se pot realiza cape cu diametrul de 1300 mm.

Lungimea admisibilă a rotorului depinde de diametrul acestuia şi dacă se ia în considerare gradul de supleţe, atunci raportul L/D nu va putea depăşi valori de 6 ... 7.

În strânsă corelare se menţionează condiţiile limitative legate de:

- încovoiere,
- dilatare termică,
- momente de scurtcircuit,
- eforturi de torsiune.

Inducţia în întrefier B, în cazul tolelor utilizate în prezent, poate atinge valori de circa 1 ... 1,2 Tesla. Dacă vor fi disponibile tole cu calităţi superioare, atunci va fi eventual posibilă depăşirea acestor valori.

Din cele de mai sus rezultă că, pentru anumite dimensiuni geometrice limitate, puterea unitară maximă este condiţionată de performanţele sistemelor de răcire.

Domenii de puteri unitare realizabile, utilizând diverse sisteme de răcire

Cel mai simplu sistem de răcire rămâne cel cu aer. Pentru generatoarele noi, tehnologiile actuale permit ca în gama de puteri până la 300 MVA să se aplice răcirea cu aer [9].

La înfăşurările statorice, transferul de căldură de la conductoare la aer se face indirect, respectiv prin izolaţia electrică. La înfăşurările rotorice transferul de caldură are loc direct, întrucât se utilizează conductoare tubulare din cupru, prin care circulă aerul de răcire.

În domeniul de puteri de la 300 MVA până la circa 450 MVA se aplică, de regulă, răcirea indirectă cu hidrogen a înfăşurărilor statorice, între 450 MVA şi aproximativ 1000 MVA la înfăşurările statorice se poate folosi fie răcirea directă cu hidrogen, fie răcirea cu apă, iar în domeniul de la 1000 MVA la 1400 MVA se foloseşte în exclusivitate răcirea cu apă a înfăşurărilor statorice.

Pentru toate generatoarele cu puteri unitare între 300 MVA şi 1400 MVA se apreciază că răcirea cu hidrogen va constitui soluţia standard de răcire a rotorului. De asemenea, la aceste maşini, pachetele de tole statorice vor fi răcite cu hidrogen. Prin utilizarea materialelor electroizolante moderne, tensiunea la bornele generatoarelor poate ajunge în prezent până la circa 27 kV.

În viitor se prelimină creşterea în continuare a puterii unitare a turbogeneratoarelor. În figura 1 se prezintă domeniile de puteri ce vor fi acoperite în funcţie de sistemul de răcire utilizat [4].

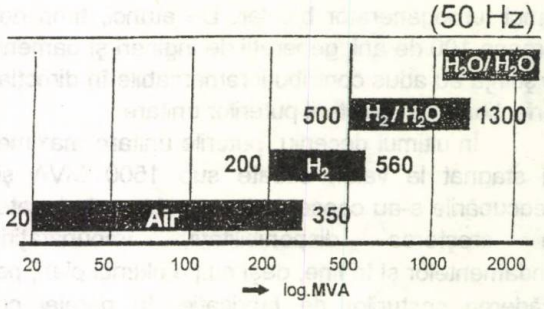


Fig.1. Domeniile de puteri unitare ale turbogeneratoarelor, posibil de acoperit utilizând diverse sisteme de răcire.

Deşi în prezent există tehnologiile necesare realizării unor turbogeneratoare cu puteri unitare mai mari, nu se constată existenţa unor cereri care să determine tendinţe clare de creştere a puterii unitare a turbogeneratoarelor.

În consecinţă, activităţile sunt concentrate, în special, către:

- mărirea factorului de utilizare a volumului maşinii, respectiv a raportului putere/volum;
- îmbunătăţirea randamentului;
- creşterea disponibilităţii;

- scăderea costurilor, prin raţionalizarea fabricaţiei.

Dintre realizările ultimilor ani, se pot remarca în mod deosebit:

- utilizarea pe scară largă a sistemului de răcire cu apă a înfăşurărilor statorice folosind conductoare elementare tubulare din oţel inoxidabil; şi

- aplicarea noilor tehnologii şi materiale, cu ocazia reparaţiilor capitale ale generatoarelor aflate în exploatare, sau a execuţiei lucrărilor de reabilitare la grupurile energetice.

Înfăşurări statorice răcite cu apă, folosind conductoare elementare tubulare din oţel inoxidabil

Sistemul a fost brevetat în anul 1957, iar prima aplicaţie industrială datează din anul 1973. Compania Asea Brown Boveri a fabricat în perioada 1973-1989 turbogeneratoare de mare putere, având înfăşurările statorice răcite cu apă, folosind pentru circulaţia apei conductoare elementare tubulare fie din cupru, fie din oţel inoxidabil.

Începând cu anul 1989, compania a renunţat la folosirea conductoarelor elementare tubulare din cupru, având în vedere comportarea nesatisfăcătoare a acestora în exploatarea de lungă durată, manifestată prin defecte sistematice apărute în general la generatoarele prevăzute cu sisteme de răcire, la care circulaţia apei se făcea prin conductoare elementare tubulare din cupru. O analiză exhaustivă a fost efectuată de către Compania General Electric. În materialele relativ recent publicate de GE se prezintă evoluţia şi cauzele acestor defecte sistematice, astfel că nu este cazul să se insiste acum asupra acestor aspecte.

Faţă de soluţia cu conductoare tubulare elementare din cupru utilizarea celor din oţel inoxidabil prezintă o serie de avantaje, dintre care se menţionează:

- rezistenţa mecanică sporită;

- creşterea vitezelor de circulaţie ale apei de răcire cu efecte favorabile asupra stabilităţii debitelor prin camerele de apă şi prin conductoarele elementare tubulare;

- dispariţia produselor de coroziune şi eroziune, care pot duce la înfundarea parţială sau totală a conductoarelor elementare tubulare, în condiţiile în care se pot admite şi limite mai largi pentru indicii de calitate ai apei de răcire;

- simplificarea sistemului de conexiuni interne deoarece se folosesc materiale de acelaşi fel. Totodată se evită fenomenele de oboseală a materialului şi apariţia de neetanşeităţi la camerele de apă;

- optimizarea îmbinărilor, care se execută prin sudură, fără a fi necesare tratamente termice. Astfel dispare necesitatea folosirii diverselor aliaje şi materiale pentru execuţia lipiturilor, procedeu specific în cazul conductoarelor elementare din cupru, şi se evită consecinţele cunoscute nedorite.

Se poate deci concluziona ca prin utilizarea conductoarelor elementare tubulare din oţel inoxidabil rezultă creşterea sensibilă a fiabilităţii generatoarelor, în principal ca urmare a eliminării efectelor coroziunii şi eroziunii şi a apariţiei de neetanşeităţi la sistemul de răcire cu apă.

Caracteristicile oţelului inoxidabil folosit (AISI 304) sunt deosebit de importante, deoarece:

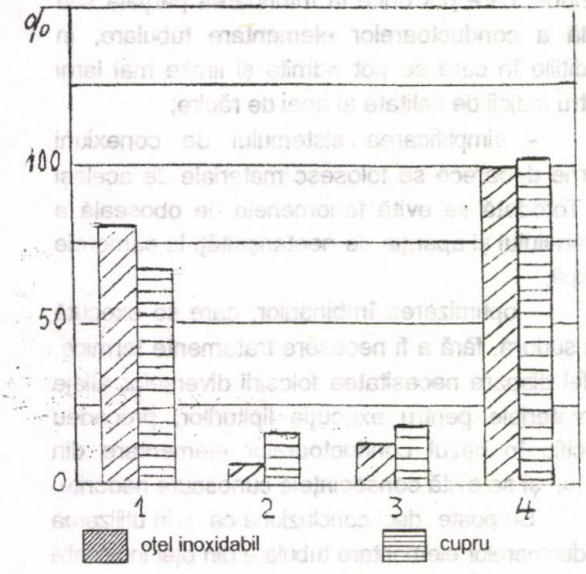
- în domeniul de variaţie al temperaturilor înfăşurărilor statorice coficienţii de dilatare trebuie să fie practic egali cu cei ai cuprului, spre a se elimina riscul deteriorării izolaţiei ca urmare a dilatărilor inegale ale conductoarelor elementare adiacente ;

- pierderile electrice totale în înfăşurările statorice trebuie să fie mai mici, sau cel mult egale cu cele din cazul folosirii conductoarelor elementare din cupru.

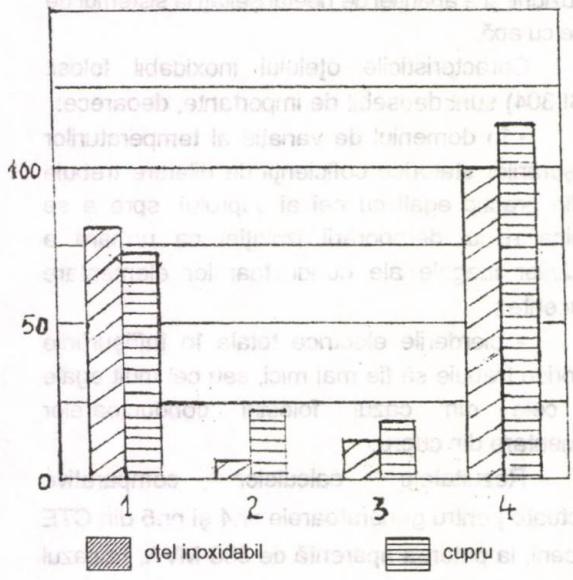
Rezultatele calculelor comparative efectuate pentru generatoarele nr.4 şi nr.5 din CTE Turceni, la puterea aparentă de 388 MVA, în cazul folosirii de conductoare elementare tubulare din oţel inoxidabil şi respectiv din cupru, sunt prezentate în figura 2.

Din figura 2a reiese că pentru varianta cu câte patru conductoare elementare tubulare pe bară, pierderile totale au valori apropiate, respectiv de 1037 kW în cazul variantei oţel inoxidabil şi de 1057 kW în cazul variantei cupru.

Din figura 2b rezultă că, în soluţia iniţială cu câte opt conductoare elementare tubulare din cupru, pierderile totale sunt mai mari, respectiv de 1184 kW.



a. Varianta cu câte patru conductoare elementare tubulare în fiecare bară.



b. Varianta cu patru conductoare elementare tubulare din oţel inoxidabil în fiecare bară, comparativ cu opt conductoare elementare tubulare din cupru în fiecare bară (soluţia iniţială ALSTHOM).

Fig.2. Nivelul comparativ al pierderilor în înfăşurările statorice în cazul folosirii conductoarelor elementare din oţel inoxidabil, sau din cupru, calculate pentru turbogeneratoarele nr.4 şi nr.5 din CTE Turceni, la puterea aparentă de 388 MVA: 1 - pierderi ohmice; 2 - pierderi cu câmpul învârtitor în crestătură; 3 - pierderi cu câmpul învârtitor în capetele înfăşurării statorice; 4 - pierderi totale.

Concepţia de realizare a capetelor înfăşurărilor statorice în soluţia cu conductoare elementare tubulare din oţel inoxidabil se poate vedea în figurile 3 şi 4.

Astfel, în figura 3 se prezintă conexiunile dintre barele statorice, racordarea conductoarelor elementare tubulare din oţel inoxidabil, camerele de apă şi legăturile de intrare şi ieşire ale apei de răcire.

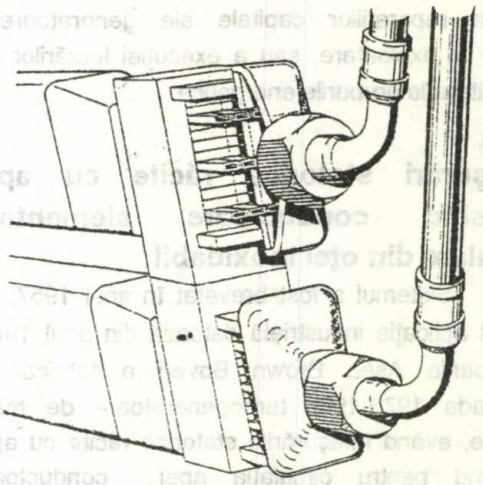


Fig.3. Detaliu reprezentând conexiunile barelor statorice, conductoarele elementare tubulare din oţel inoxidabil şi racordurile apei de răcire cu camerele de apă.

Modul de prindere şi susţinere al capetelor înfăşurărilor statorice este arătat în figura 4.

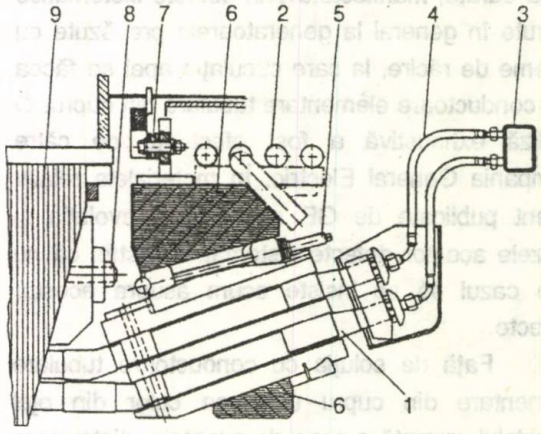


Fig.4. Susţinerea şi fixarea capetelor înfăşurării statorice răcite cu apă:
1 - înfăşurarea statorică răcită cu apă; 2 - conexiunile înfăşurării; 3 - colector de apă; 4 - furtun din teflon; 5 - dispozitiv de strângere; 6 - inel de susţinere; 7 - plăci elastice; 8 - bulon de strângere a miezului magnetic; 9 - placă de presare.

Tendinţa de generalizare a utilizării conductoarelor elementare din oţel inoxidabil la realizarea înfăşurărilor statorice răcite cu apă se manifestă nu numai în fabricaţia de generatoare noi, ci şi la lucrările de retehnologizare sau de reparaţie capitală a turbogeneratoarelor grupurilor din centrale existente.

Este evident că la unităţile existente de mare putere prezintă un interes deosebit reducerea sensibilă a probabilităţii de avariere a statoarelor generatoarelor şi implicit minimizarea riscurilor economice legate atât de costul lucrărilor de reparaţii, cât şi de neproducerea de energie pe durata necesară execuţiei unor lucrări neplanificate de mare anvergură.

În consecinţă, în ultimii ani, o serie de companii de electricitate au optat pentru folosirea conductoarelor elementare tubulare din oţel inoxidabil cu ocazia rebobinării statoarelor generatoarelor.

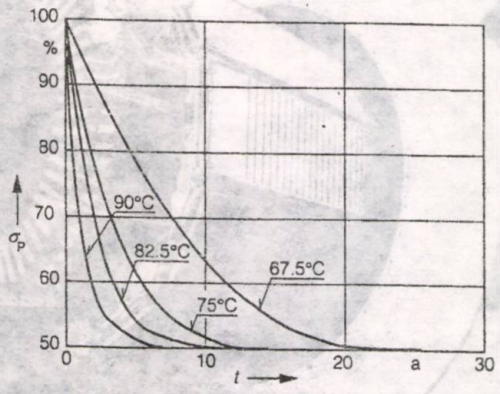


Fig.5. Durata activă de viaţă a izolaţiei de hârtie, utilizate la confecţionarea miezului magnetic al turbogeneratoarelor, în funcţie de timp şi de temperatura de lucru:
t - durata de viaţă, în ani; rezistenţa la rupere a izolaţiei de hârtie.

Dintre acestea se menţionează Florida Power & Light din USA şi Electricité de France.

Astfel, la Florida Power & Light a fost aplicată această soluţie la unităţile energetice:

- Martin 1 de 935 MW, repus în funcţiune după încheierea lucrărilor, în anul 1990;
- Martin 2 de 863 MW, repus în funcţiune în anul 1991;
- Manatee de 935 MW, repus în funcţiune în anul 1992.

La Electricité de France se menţionează:

- Cruas de 900 MW, repus în funcţiune în anul 1995;
- în anul 1966 se vor repune în funcţiune încă trei turbogeneratoare de 900 MW retehnologizate în soluţia cu conductoare elementare tubulare din oţel inoxidabil, în stadiul cel mai avansat fiind unitatea de la St. Laurent.

Tehnologii moderne de reabilitare a turbogeneratoarelor

Tehnologiile şi materialele aflate în decursul timpului la dispoziţia producătorilor de turbogeneratoare, precum şi alte condiţii, fie de ordin economic, fie legate de accesul la tehnologiile moderne, au condus la existenţa, în prezent, a unui mare număr de turbogeneratoare, având încă o durată restantă apreciabilă de viaţă , dar la care, ţinând seama de stadiul actual al tehnicii, cu ocazia reparaţiilor capitale, sau a retehnologizării, pot fi aduse îmbunătăţiri substanţiale, cu efecte economice sensibile în exploatare. Dintre acestea se pot menţiona:

- **Înlocuirea răcirii cu hidrogen prin răcire cu aer**

În prezent sunt îndeplinite toate premisele necesare pentru realizarea de turbogeneratoare răcite cu aer până la puteri de 300 MVA. Ca urmare, la foarte multe generatoare existente poate să pară foarte avantajoasă, din punct de vedere economic şi tehnic, introducerea răcirii cu aer în locul răcirii cu hidrogen, ca de exemplu la cele din clasa de puteri cuprinse între 70 MVA şi 180 MVA.

Astfel, fără a fi afectate performanţele tubogeneratoarelor, se pot elimina instalaţiile de hidrogen şi bioxid de carbon, sistemele de etanşare cu ulei ale rotoarelor generatoarelor, precum şi alte echipamente şi instalaţii auxiliare, în funcţie de situaţiile întâlnite.

Dispar totodată şi riscurile legate de prezenţa hidrogenului în sala de maşini.

Costurile aferente de exploatare, întreţinere şi reparaţii se reduc în mod corespunzător.

În funcţie de condiţiile concrete, se estimează posibilitatea diminuării cheltuielilor anuale cu valori de ordinul a 150-175 mii$ [6].

Dintre lucrările de acest gen se menţionează retehnologizarea turbogeneratorului de 150 MW din centrala electrică de la Aschaffenburg aparţinând Bayernwerke A.G. din Germania. După trecerea generatorului de la

sistemul de răcire cu hidrogen, la răcirea cu aer, grupul a fost repus în funcţiune în anul 1994.

- **Execuţia de module stator şi reducerea duratei de oprire a grupurilor pentru execuţia lucrărilor de retehnologizare a turbogeneratoarelor**

Practic, la toate turbogeneratoarele fabricate înainte de 1965, iar la destul de multe şi după aceasta, ca material izolant între tolele miezului magnetic s-a folosit hârtia.

Proprietăţile hârtiei scad în funcţie de timp şi de nivelul de temperaturi în exploatare (fig.6). La valori sub 50% din valoarea iniţială a rezistenţei este probabilă apariţia de contacte galvanice între tole, care duc la creşterea pierderilor, manifestată apoi prin ridicarea nivelului temperaturilor, şi uneori la deteriorarea miezului magnetic. Nivelul mai ridicat al temperaturilor duce de asemenea şi la degradarea izolaţiei înfăşurărilor statorice, aşa cum se arată în figura 6. Aceste efecte combinate pot conduce la producerea unor avarii. Materialele electroizolante disponibile în prezent elimină apariţia şi dezvoltarea unor astfel de defecte pe întreaga durată de viaţă a turbogeneratorului, cu condiţia respectării tehnologiilor de fabricaţie şi în special de strângere corectă a tolelor.

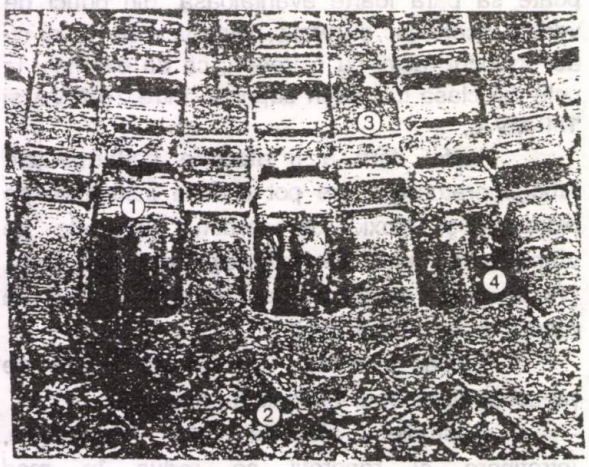


Fig. 6. Degradarea izolaţiei înfăşurării statorice:
1 - dinte; 2 - înfăşurare statorică; 3 - crestătură; 4 - material rezultat în urma descărcărilor.

În situaţiile în care se constată apariţia unor semne caracteristice fenomenelor de îmbătrânire a izolaţiei tolelor miezului magnetic şi a izolaţiei înfăşurărilor statorice, este indicată retehnologizarea turbogeneratorului.

Operaţia poate implica înlocuirea miezului magnetic şi a înfăşurărilor statorice.

În astfel de cazuri variantele posibile de execuţie a lucrărilor sunt:

- confecţionarea în uzină şi livrarea unui stator de generator complet nou, demontarea de pe fundaţie a statorului vechi şi montarea statorului nou;
- execuţia la faţa locului, în centrala electrică, a lucrărilor de reabilitare a statorului generatorului;
- confecţionarea în uzină a unui modul de stator, respectiv a miezului magnetic complet bobinat, livrarea acestuia la centrală, demontarea vechiului miez magnetic şi montarea modulului statoric în carcasa existentă a generatorului, fără mutarea acesteia de pe fundaţie (fig.7).

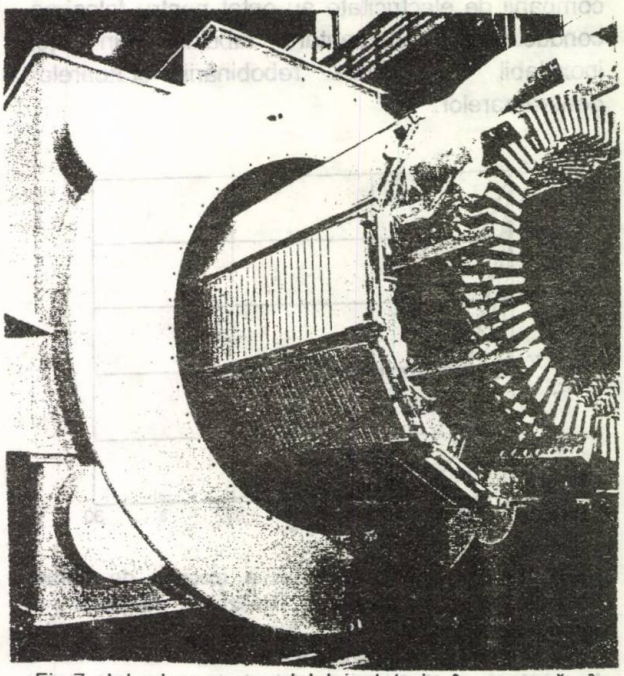


Fig.7. Introducerea modulului statoric în carcasă, în timpul execuţiei lucrărilor de retehnologizare ale unui turbogenerator.

În ultima variantă se poate asigura:

- calitatea ridicată a execuţiei în uzină a modulului statoric, respectiv a miezului magnetic şi a înfăşurărilor statorice;
- durata mai redusă a execuţiei lucrării;
- costuri totale mai scăzute, datorate în principal:
  - volumului mai redus al furniturii prin păstrarea carcasei statorului;
  - simplificării lucrărilor de demontare - remontare;

• reducerii energiei neproduse ca urmare a scurtării duratei de execuţie a lucrărilor în centrală cu grupul oprit.

Această variantă de retehnologizare a fost realizată la un turbogenerator de 100 MVA dintr-o centrală electrică din Orientul Mijlociu [6].

Concluzii

1. În ultimii ani puterea unitară maximă a turbogeneratoarelor s-a plafonat în jurul valorii de 1500 MVA şi actualmente nu se constată existenţa unor cereri din partea companiilor de electricitate de natură să contureze tendinţe de creştere a puterilor unitare.

2. Eforturile s-au concentrat şi se concentrează în continuare, în direcţia perfecţionării tehnologiilor de fabricaţie, folosirii de materiale de calitate superioară şi introducerii de soluţii noi, vizând în principal:

- mărirea factorului de utilizare a volumului maşinii, respectiv a raportului putere/volum;
- îmbunătăţirea randamentelor;
- creşterea sensibilă a disponibilităţii;
- scăderea costurilor, prin raţionalizarea fabricaţiei.

Un pas important în direcţia creşterii disponibilităţii turbogeneratoarelor cu înfăşurări statorice răcite cu apă îl constituie utilizarea conductoarelor elementare tubulare din oţel inoxidabil în locul celor din cupru.

3. Progresele realizate permit extinderea domeniilor de puteri unitare acoperite cu sisteme de răcire mai simple, dintre care se remarcă posibilitatea fabricaţiei de turbogeneratoare cu puteri de până la 300 MVA răcite cu aer.

4. Companiile de electricitate, urmărind atent diminuarea costurilor şi a riscurilor de producţie, manifestă un interes crescând pentru retehnologizarea turbogeneratoarelor existente, optând practic în toate cazurile pentru aplicarea de soluţii moderne cu ocazia execuţiei lucrărilor de reparaţii capitale la turbogeneratoare, renunţându-se la conceptul mai vechi de restabilire fidelă a soluţiilor iniţiale. Dintre acestea se remarcă:

- utilizarea conductoarelor elementare tubulare din oţel inoxidabil la confecţionarea înfăşurărilor statorice răcite cu apă;
- conversia generatoarelor, cu puteri până la circa 180 MVA, de la răcirea cu hidrogen la răcirea cu aer;
- folosirea de module stator cu ocazia lucrărilor de retehnologizare, sau reparaţie capitală a statoarelor generatoarelor.

BIBLIOGRAFIE

[1] DIN VDE 0530 T.3 Umlaufende elektrische Maschinen. Dreiphasen Turbogeneratoren. Ausgabe 1978. Erlauterungen zu den VDE Bestimmungen für Umlaufende elektrische Maschinen DIN 57630/VDE 0530. Schrittenreihe 10. Publisher VDE Verlag GMBH, Berlin, Offenbach, 1984.

[2] IEC Publication 34 - 3. 1984.

[3] Empfehlungen zur Verbesserung der H2 Sicherheit wasserstoffgekühlter Generatoren. 1 st edition 1989. Publisher Arbeitsgruppe H2 Sicherheit im Arbeit-Auschuss Generatoren und Motoren der Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke-VDEW - e.V. Verlags - und Wirtschaftsgeselschaft der Elektrizitätswerke mbH, Frankfurt a. M.

[4] ABB Turbogenerators and their Auxiliaries. ABB Power Generation. Publication No.CH-KW 250394 E, Index A.

[5] Liptak, G., Schuler, R. *Experience with diagnostic and monitoring methods on generator windings in relation to remaining life.* CIGRE, report 11-304, 1992 Paris.

[6] Schöninger, J. *Power plant service - a new concept for faster retrofitting of turbogenerators.* In: ABB Review 10/1995, p.23-30.

[7] Thomas, P. *Competitivness through total cycle time.* In: Mc Graw-Hill Publishing Company, 1991.

[8] Haase, H., Largiader , H. *Design and operation on test bed of a 200 MVA air cooled turbogenerator.* CIGRE session 1984, paper 11-09.

[9] Stephan,C.-E., Baer, J., Zimmermann, H., Neidhofer, G., Egli, R. *New air cooled turbogenerator in the 300 MVA class.* In: ABB Review 1/1996, p.20-28.

[10] Stephan, C.E., Liptak, G., Schuler, R. *Micadur-Plus, a new insulation system for stator windings of electrical machines.* In: ABB Review 8/1995, p. 28 - 34.

(Referent : dr. ing. Eugeniu Pavel - redactor- şef al revistei Energetica)

(Primit la 7 mai 1996, acceptat la 7 iunie 1996)

SOLICITĂRI TORSIONALE ÎN FUNCŢIONAREA TURBOAGREGATULUI DE 800 MVA DE LA C.N.E. CERNAVODĂ

ing. MARIUS CONSTANTINESCU

Lucrarea analizează nivelul solicitărilor torsionale ce ar putea fi impuse liniei de arbori a turboagregatului de 800 MVA de la C.N.E. Cernavoda, în cazul unor defecte polifazate. Rezultatele obţinute arată că în situaţii defavorabile, aceste solicitări depăşesc rezistenţa turboagregatului, fiind urgent necesare măsuri de protecţie şi limitare.

The paper analyses the level of the maximum actual torque loads that could be applied the line of shafting of the 800 MVA power unit from the Cernavodă nuclear plant in case of polyphased faults. The results that have been obtained show the fact that under unfavourable circumstances these loads surpass the power unit resistance this urgently requiring limiting and protection measures.

Descriptori: turbogeneratoare, solicitări torsionale

Natura şi importanţa problemei

Relativ recent (1975) s-a stabilit că în timpul funcţionării lor, turboagregatele de mare putere sunt supuse unor solicitări torsionale tranzitorii de o amplitudine şi durată necunoscute anterior. Aceste solicitări depăşesc nivelurile prevăzute de normele interne şi internaţionale (STAS 8211/68; ANSI Std. C50.13).

Caracterul periodic, repetitiv, pe care îl au aceste solicitări, determină un efect de oboseală torsională cumulativ, care poate provoca reduceri importante (zeci de procente) ale duratei de viaţă a turboagregatului. Consecinţele de fiabilitate şi economice au determinat studii ample, atât de metodă, cât şi experimentale, asupra rezistenţei la torsiune a oţelurilor folosite în construcţia arborilor de turboagregate.

Este de remarcat faptul că, deşi iniţiate cu 25 de ani în urmă, aceste cercetări continuă şi astăzi.

În afara acestor aspecte fundamentale, trebuie semnalate două concluzii cu valoare aplicativă publicate în literatura de specialitate şi care sunt de un interes deosebit pentru cazul particular al turboagregatului de 800 MVA de la C.N.E. Cernavodă, şi anume:

- pe baza analizelor efectuate cu modele evoluate de către specialiştii firmei KWU, s-a stabilit că "arborii turboagregatelor mari, în special cei ai grupurilor cu patru poli, sunt foarte sensibili la componenta unidirecţională a cuplului electromagnetic" [1];

- pe baza unor analize efectuate cu modele de calcul diferite, dar şi prin experimentări de laborator, realizate de către specialiştii belgieni în colaborare cu cei de la M.I.T. (Massachussetts Institute of Technology, SUA), s-a ajuns la concluzia ca "rezistenţa potenţială contra oboselii a grupului DOEL nr.3 (1000 MVA,1500 rot/min) poate fi cu mai multe ordine de mărime mai scazută decât cea a grupului nr.2 de la centrala Big Sandy (905 MVA, 3600 rot/min) la şocuri comparabile" [2].

Obiectul acestui articol îl reprezintă studiul preliminar al acestor procese torsionale tranzitorii ce pot apărea în funcţionarea turboagregatului (T.A.) de la C.N.E. Cernavodă şi al efectelor acestora, în scopul de a determina aplicarea de urgenţă a măsurilor de protecţie necesare.

Este important să amintim şi părerea exprimată de Charles Concordia, poate cea mai mare personalitate a lumii în acest domeniu, asupra acestei probleme, după cele două ruperi de arbori de la centrala Mohave (SUA,1970 şi 1971). Revoltat de faptul că aceste două avarii, devenite celebre, n-au fost prevenite prin analize tehnice, Concordia a spus: "*Dar cel mai tragic şi aproape incredibil aspect, este acela că s-a ajuns ca mulţi oameni să fie dezinteresaţi şi că problema nu a fost în general recunoscută până când ea nu a apărut în mod forţat în atenţia industriei prin* ***avarii caracteristice****. Aceasta, deoarece nu au existat o monitorizare înaintea faptelor şi studii asupra unei concepţii noi din punct de vedere aplicativ.*" (Discuţii la [11]).

Articolul de faţă poate fi considerat şi ca o încercare de a se evita repetarea unei situaţii

asemănătoare în cazul turboagregatului de 800 MVA de la C.N.E. Cernavodă.

2. Modelul de calcul

"Un model se construieşte pentru atingerea unui scop concret şi gradul lui de adecvare sau fundamentare se evaluează în termenii acestui scop" [15].

În cazul de faţă, particularităţile care au determinat acest scop, şi deci elaborarea modelului, au fost:

- necesitatea evidenţierii principalilor factori de interacţiune care determină procesul de oscilaţie torsională al arborilor turboagregatelor în urma defectelor electrice apărute în reţelele electrice în care acestea debitează energia;
- evaluarea solicitărilor mecanice care ar putea apărea şi a consecinţelor economice şi de siguranţă în funcţionare ale acestora;
- evidenţierea unor posibilităţi şi soluţii de limitare a acestor consecinţe şi de protecţie a turboagregatelor.

Prin scopul propus, modelul şi programul de calcul care a rezultat pot fi încadrate în categoria de diagnostic.

3. Rezultate

3.1.Condiţii de calcul

Regimul iniţial al turboagregatului a fost considerat, atât electric, cât şi mecanic, regimul nominal.

Defectele examinate, alese pentru că produc solicitările torsionale maxime, au fost:

- scurtcircuitul trifazic;
- scurtcircuitul bifazic.

• **Localizarea defectelor:** în ambele aceste tipuri de defecte s-a presupus că ele sunt localizate pe o linie de 400 kV, în imediata apropiere a barelor de 400 kV ale C.N.E. Cernavodă.

• **Succesiunea în timp a perturbaţiilor** : pentru fiecare tip de defect s-au examinat mai multe succesiuni posibile de perturbaţii şi evoluţii ale proceselor.

Cele mai caracteristice succesiuni de perturbaţii examinate au fost:

a) scurtcircuit-declanşare cu reapariţia sarcinii-reanclanşare pe scurtcircuit (R.A.R. nereuşit) - declanşarea defectului cu reapariţia sarcinii;

b) scurtcircuit - declanşare - reanclanşare (R.A.R. reuşit), cu reapariţia sarcinii;

c) scurtcircuit-declanşarea defectului în zone favorabile ale oscilaţiei torsionale (R.A.R. eliminat).

Duratele de calcul alese au fost de 0,5 s., 1,25 s. şi 2,5 s., iar pasul de calcul de 0,001 s.

3.2.Rezultate obţinute

În tabelele 1 şi 2 sunt prezentate, sintetic, cele mai semnificative rezultate de calcul.

Rezultatele prezentate în tabelul 1 au fost obţinute cu o variantă de program în care s-a neglijat influenţa unghiului rotoric, a variaţiei vitezei şi a efectului de inducţie datorat acestei variaţii .

În schimb, rezultatele prezentate în tabelul 2 au fost obţinute cu o variantă de program în care s-a ţinut cont de toţi aceşti factori, dar s-au neglijat efectele utilizării R.A.R., considerându-se suficient de elocvente, din acest punct de vedere, rezultatele cuprinse în tabelul 1. Rezultatele de calcul prezentate sunt astfel o selecţie, prin care s-a urmărit punerea în evidenţă, atât a valorilor caracteristice ale cuplului mecanic de torsiune (inclusiv a consecinţelor de rezistenţă şi oboseală ale acestora), cât şi a efectelor ce pot fi realizate cu ajutorul a diferiţi factori, cum sunt: momentul comutaţiei, variaţia prin diferite mijloace a impedanţei până la defect, reglajul excitaţiei, reglajul de viteză etc.

Trebuie de asemenea arătat că rezultatele cuprinse în tabelul 1 au fost obţinute pentru zone de comutaţie corespunzătoare timpilor uzuali de deconectare şi ciclurilor de R.A.R.(deconectare la 0,1 s; reanclanşare la 0,3 s; deconectare definitivă la 0,4 s). Aceste valori ale timpilor de comutaţie corespund posibilităţilor întrerupătoarelor de fabricaţie indigenă. Spre deosebire de aceste cicluri de comutaţie, în tabelul 2 sunt reproduse valorile obţinute în condiţiile unor întrerupătoare moderne de fabricaţie Siemens şi a reglajelor actuale stabilite pentru protecţiile de impedanţă, de bază şi de rezervă (deconectare la 0 s pentru protecţia de bază; deconectare la 0,4 s pentru protecţia de rezervă). La aceşti timpi de reglaj ai protecţiei, s-au adăugat timpul propriu al protecţiei şi timpul corespunzător dispersiei de acţionare a întrerupătorului.

Însumarea acestor timpi duce la o întârziere totală de acţionare a protecţiei cuprinsă între 0,046 ÷ 0,05 s, în cazul protecţiei A.B.B. tip LZ96, şi între 0,056÷0,060 s, în cazul protecţiilor Siemens LZ şi 7SA513.

Astfel, rezultatele din tabelul 2 arată efectul pe care reglajele actuale, adoptate pentru protecţiile de declanşare a defectelor polifazate localizate pe liniile de 400 kV conectate la staţia C.N.E. Cernavodă, îl au asupra nivelului solicitărilor torsionale aplicate liniei de arbori a turboagregatului de 800 MVA.

Tabelul 1

Valori caracteristice ale cuplului de torsiune şi ale oboselii torsionale acumulate pe incident

Tipul defectului	Fără R.A.R..		Cu R.A.R.	
	Mm (u.r.)	O.T. [%]	Mm (u.r.)	O.T. [%]
Scurtcircuit trifazat	3,25 ÷4,50	47 ÷ 50	5,50 ÷ 8,00	> 100
Scurtcircuit bifazat	1,50 ÷ 2,00	17 ÷ 28	5,00 ÷7,00	> 100

Observaţie: R.A.R. nesecvenţial şi neadaptiv

800 MVA de la C.N.E. Cernavodă determinate de constructor. Rezultatele sunt ilustrate în figurile 1 - 8.

3.3. Limite de rezistenţă la solicitări torsionale variabile ale turboagregatului de 800 MVA.

Acest domeniu este de o mare complexitate, fapt ilustrat printre altele şi de volumul practic singular în tehnica de specialitate, de cercetări experimentale dezvoltate de General Electric şi E.P.R.I. (Electric Power Research Institute) [13].

Tabelul 2

Variaţia mărimilor caracteristice funcţie de timpii de declanşare stabiliţi pentru protecţiile de bază şi de rezervă

t_d [s]	Mem [u.r.]	t [s]	Mm [u.r.]	t [s]	O.T. [%]	Tensiune tangenţială/ Sigma ad.	Observaţii
0.046	5,54	0,046	1,99	0,544	28,0	1,01799	Fără amortizare
0,060	2,44	0,063	2,02	0,543	28,0	1,03048	Protecţie bază
0,450	4,61	0,045	2,40	1,071	36,0	1,2264	Protecţie rezervă
0,460	4,61	0,045	2,41	1,071	36,0	1,2324	
0,235	4,61	0,045	1,76	0,894	23,0	0,8981	Cu amortizare
0,235	4,60	0,045	1,71	0,894	21,5	0,87165	

Notaţii:
t_d - timpul de declanşare.
t - timpul de înregistrare a valorii mărimii respective
Mem - cuplul electromagnetic
Mm - cuplul mecanic de torsiune
O.T.- oboseala torsională acumulată în urma unui incident (în % din oboseala totală admisibilă)
Cu amortizare: cu considerarea amortizărilor elastică şi cea datorită aburului din turbină.

Alte rezultate de calcul caracteristice care interesează sunt:

- valoarea maximă iniţială a cuplului electromagnetic (scurtcircuit prin reactanţa transformatorului bloc):
  - scurtcircuit trifazic: 5,54 u.r.
  - scurtcircuit bifazic: 2,70 u.r.
- rigiditatea la torsiune în zona cuplajului generator-turbină: 52,53 u.r.cuplu/rad.
- pulsaţiile proprii de oscilaţie:

$\Omega_1 = 71{,}74\ s^{-1}$

$\Omega_2 = 144{,}337\ s^{-1}$

- frecvenţele proprii de oscilaţie corespunzătoare:

$f_1 = 11{,}4$ Hz.; $f_2 = 22{,}9$ Hz.

- frecvenţa rezultantă de oscilaţie torsională, care include influenţa variaţiilor constantelor de timp electrice asupra valorilor instantanee ale cuplului electromagnetic:

$f_t = 9 \div 11{,}7$ Hz.

Calculul oboselii torsionale a fost efectuat prin utilizarea datelor exacte referitoare la T.A. de

Pentru a se putea evalua importanţa efectelor solicitărilor torsionale variabile asupra rezistenţei mecanice a turboagregatului de 800 MVA, în cadrul acestui capitol s-a efectuat o foarte succintă şi simplă evaluare a acestor efecte.

Astfel, după cum este fundamentat în lucrări de specialitate [16, 19, 20], limitele admisibile se stabilesc în funcţie de natura solicitării, astfel:

a) pentru solicitări staţionare, limita admisibilă (faţă de care se adoptă coeficientul de siguranţă) este dată de limita de curgere a materialului;

b) pentru solicitări variabile, care în acest caz sunt şi ciclice, limita admisibilă este cea corespunzătoare nivelului de oboseală considerat admisibil în cazul dat.

Pentru turboagregate, s-a acceptat ca o practică curentă [13,16,20], ca aceste limite să fie stabilite de constructorul turboagregatului.

a. În [16], care este o lucrare fundamentală în domeniu, se arată că în construcţia de maşini electrice trebuie considerată principial periculoasă limita de curgere.

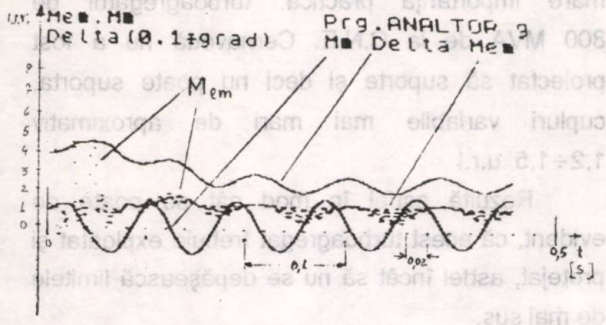


Fig.1. Declanşare prin protecţia de bază $^{0.6s}$ t_d = 0,060 s; 0,0 km.

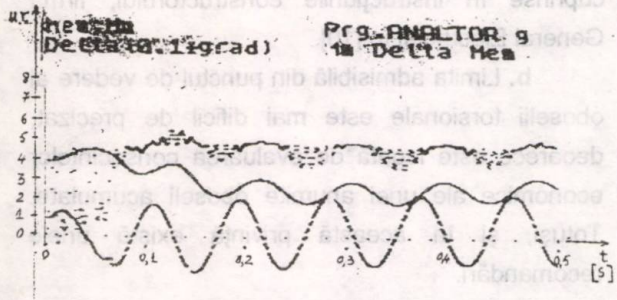


Fig.2. Declanşare prin protecţia de bază $^{0.6s}$ t_d = 0,065 s; 0,0 km.

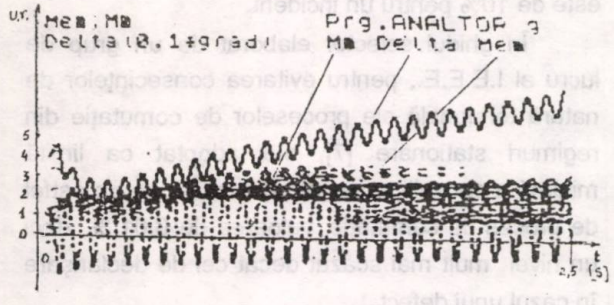


Fig.3. Declanşare prin protecţia de bază $^{2.5S}$ t_d = 0,05 s; 0,0 km.

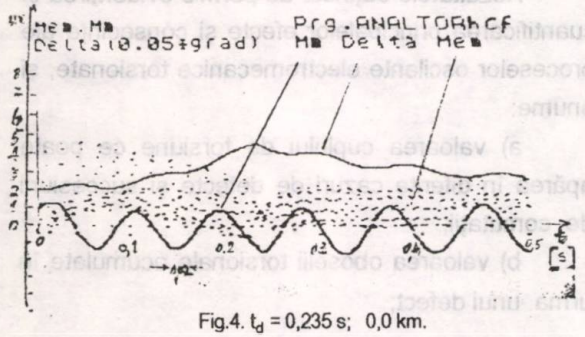


Fig.4. t_d = 0,235 s; 0,0 km.

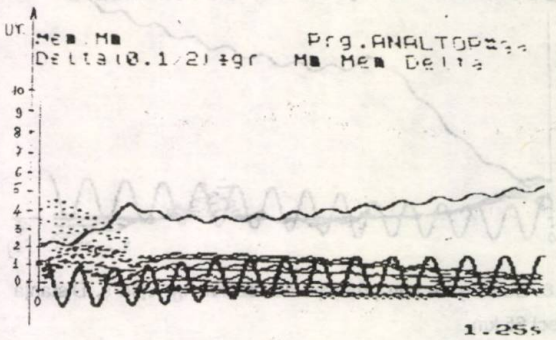


Fig.5. Declanşare prin protecţia t_d = 0,235 s; 0 km. Amortizarea elastică şi a aburului incluse.

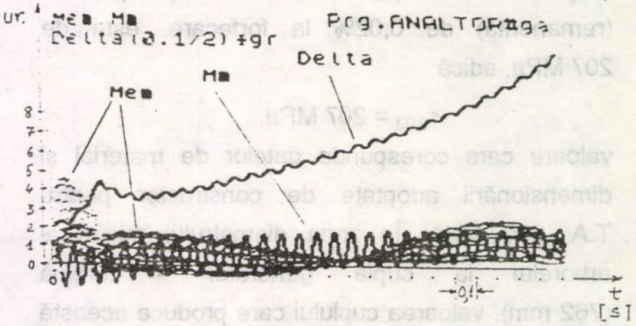


Fig.6. Declanşare prin protecţia t_d = 0,235 s; 0 km. Amortizarea elastică şi a aburului incluse.

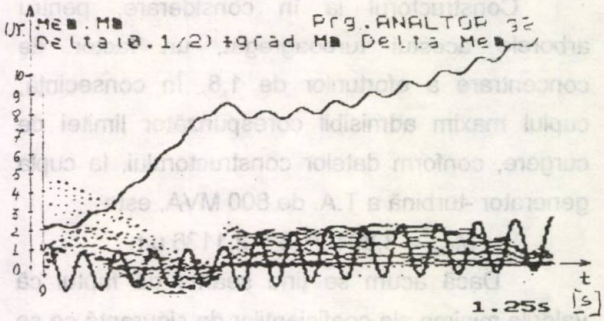


Fig.7.a. Declanşare prin protecţia de rezervă t_d = 0,460 s; 0,0 km.

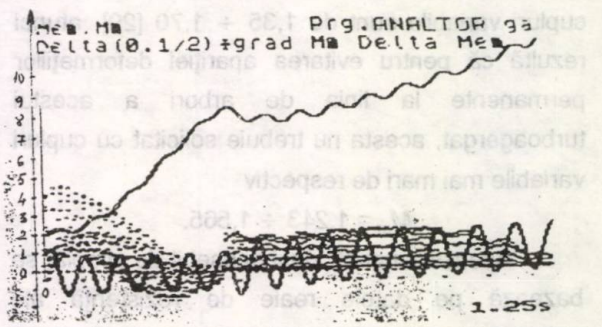


Fig.7.b. Declanşare prin protecţia de rezervă t_d=0,46 s; 00,0 km. Amortizarea elastică şi a aburului incluse.

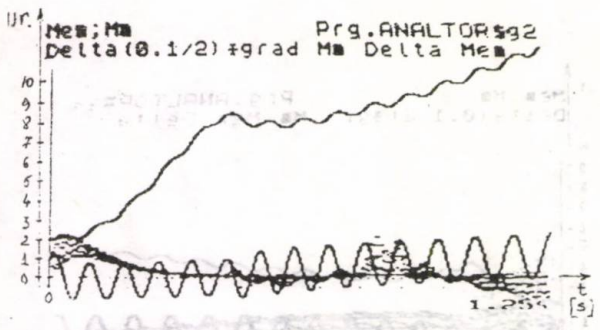


Fig.8. Declanşare prin protecţia de rezervă t_d=0,46 s. Distanţa defect 65 km.

Conform datelor General Electric, limita de curgere definită pentru o deformaţie plastică (remanentă) de 0,02% la forfecare, este de 207 MPa, adică:

$$\tau_{0,02} = 207 \text{ MPa},$$

valoare care corespunde datelor de material şi dimensionării adoptate de constructor pentru T.A. 800 MVA. În zona diametrului minim al arborelui la cupla generator - turbină (762 mm), valoarea cuplului care produce această solicitare este de :

$$M_{t\,lim} = 3,8045 \text{ u.r.}$$

Constructorul ia în considerare, pentru arborele acestui turboagregat, un factor de concentrare a eforturilor de 1,8. În consecinţă, cuplul maxim admisibil corespunzător limitei de curgere, conform datelor constructorului, la cupla generator -turbină a T.A. de 800 MVA, este

$$M_{t\,ad} = 3,8045/1,8 = 2,1136 \text{ u.r.}$$

Dacă acum se ţine seama de faptul că valorile minime ale coeficienţilor de siguranţă ce se adoptă în mod curent în cazul arborilor solicitaţi la cupluri variabile sunt de 1,35 ÷ 1,70 [29], atunci rezultă că pentru evitarea apariţiei deformaţiilor permanente la linia de arbori a acestui turboagergat, acesta nu trebuie solicitat cu cupluri variabile mai mari de respectiv

$$M_m = 1,243 \div 1,565.$$

Aceasta analiză, deşi deosebit de simplă, se bazează pe datele reale de rezistenţă ale turboagregatului.

Drept urmare şi concluzia care rezultă este pe cât de reală, pe atât de fundamentală şi de mare importanţă practică: turboagregatul de 800 MVA de la C.N.E. Cernavodă nu a fost proiectat să suporte şi deci nu poate suporta, cupluri variabile mai mari de aproximativ 1,2÷1,5 u.r.!

Rezultă astfel în mod cât se poate de evident, că acest turboagregat trebuie exploatat şi protejat, astfel încât să nu se depăşească limitele de mai sus.

Subliniem şi faptul că acest rezultat este în totală concordanţă cu prevederile şi avertismentele cuprinse în instrucţiunile constructorului, firma General Electric şi în [10].

b. Limita admisibilă din punctul de vedere al oboselii torsionale este mai dificil de precizat, deoarece este legată de evaluarea consecinţelor economice ale unei anumite oboseli acumulate. Totuşi, şi în această privinţă există unele recomandări.

Astfel, specialiştii General Electric arată că în mod uzual, nivelul de oboseală torsională pentru care se reglează declanşarea unui turboagregat, este de 10% pentru un incident.

În ghidul selector elaborat de un grup de lucru al I.E.E.E., pentru evitarea consecinţelor de natură torsională ale proceselor de comutaţie din regimuri stationare [7], s-a adoptat ca limită minimă a oboselii torsionale provocată de un astfel de proces de comutaţie, valoarea de 0,01 %, deci un nivel mult mai scăzut decât cel de declanşare în cazul unui defect.

3.4. Principalele aspecte evidenţiate

Rezultatele obţinute au permis evidenţirea şi cuantificarea principalelor efecte şi consecinţe ale proceselor oscilante electromecanice torsionate, şi anume:

a) valoarea cuplului de torsiune ce poate apărea în diferite cazuri de defecte şi succesiuni de comutaţii;

b) valoarea oboselii torsionale acumulate în urma unui defect;

c) efectele electromagnetice şi unele consecinţe asupra stabilităţii tranzitorii a turbogeneratorului;

d) aspectele economice ale unora din aceste consecinţe.

Comentarea rezultatelor urmăreşte aceste mărimi, efecte şi consecinţe.

a. Valoarea cuplului torsional tranzitoriu

Nivelurile de cel puţin 2 ÷ 2,4 u.r. obţinute pentru cuplul torsional, în condiţiile reglajelor actuale adoptate pentru protecţiile de impedanţă şi cu RAR polifazat eliminat, depăşesc cu 30 ÷ 60 % valoarea admisibilă corespunzătoare solicitărilor elastice, care este în cazul acestui turboagregat de 1,5 u.r.

În consecinţă, în cazul unui defect polifazic, apropiat de barele de 400 kV ale C.N.E. Cernavodă, în lipsa unor măsuri de protecţie suplimentare faţă de cele adoptate în prezent, apariţia unor deformaţii permanente ale liniei de arbori a T.A. de 800 MVA rezultă că sigură. Este astăzi stabilit în literatura de specialitate că în acest mod se pot găsi soluţii de compromis acceptabile numai pe baza unor ample studii ale proceselor de oscilaţii torsionale.

Valorile obţinute conduc însă şi la o altă concluzie, şi anume că timpii de declanşare adoptaţi în prezent, nu ţin cont de oscilaţiile torsionale şi nu urmăresc diminuarea efectelor acestora [6 ÷11].

Figurile 1 ÷ 3 ilustrează faptul că o dispersie de numai 0,005 s, în zona timpului actual de acţionare a protecţiei de bază, determină variaţii mari ale cuplului electromagnetic rezultant, care pot amplifica cuplul de torsiune.

b. Valoarea oboselii torsionale

Nivelurile de oboseală torsională de ordinul 28÷36 %, obţinute utilizând datele bazate pe cercetări experimentale efectuate de General Electric, trebuie să fie considerate inacceptabil de mari, atât datorită reducerii mari a duratei de viaţă pe care o reflectă, cât şi faptului că ele indică posibilitatea apariţiei deformaţiilor permanente ale liniei de arbori.

c. Efectele electromagnetice şi de stabilitate

Prezenţa cuplului activ variabil, determinat de oscilaţiile maselor în rotaţie, oscilaţii amorsate şi întreţinute de cuplul electromagnetic variabil, are efecte similare cu cele care apar în cazul antrenării generatorului sincron cu un cuplu activ variabil (motoare cu ardere internă). Cum variaţiile cuplului activ, în acest caz de natură torsional-oscilatorie, pot atinge 3÷4 u.r., efectele lor sunt mult mai intense, iar datorită amortizărilor scăzute se manifestă pe durate de 10 ÷ 20 s. Drept urmare, în regimul de funcţionare ce se instalează progresiv după declanşarea defectului, pot apărea:

- pulsaţii de 20^0 ÷ 30^0 ale unghiului rotoric suprapuse oscilaţiei principale datorate dezechilibrului dintre cuplul activ debitat de turbină şi cuplul de sarcină al generatorului sincron;
- în cazul în care cuplul torsional este amplificat ca urmare a unei succesiuni nefavorabile de comutaţii, pulsaţiile pozitive şi crescătoare determină creşterea progresivă şi oscilatorie a unghiului rotoric. Acest proces poate cauza, în lipsa unor intervenţii ameliorante cu ajutorul regulatoarelor de viteză şi excitaţie, pierderea sincronismului sau declanşări prin protecţii ca urmare a variaţiilor mărimilor electrice (vezi fig.4, 5, 8.).

d. Consecinţe economice.

1. În cazul unei avarii mecanice de felul celor arătate mai sus, presupunând că se dispune de mijloace moderne pentru executarea reechilibrărilor fără demontarea arborelui afectat şi că nu sunt necesare tratamente termice, se poate considera că ar fi suficientă o întrerupere a funcţionării grupului de numai 48 ore.

În această ipoteză, numai valoarea energiei nelivrate se poate ridica, (considerând 45 $/MWh) la :

720*48*45 = 1.555.200 $

2. Durata de viaţă a turboagregatului fiind de 30 ani, este edificatoare evaluarea a numai 1% din această durată.

Presupunând 7000 ore de utilizare a puterii maxime şi tot 45 $/MWh valoarea energiei produse, costul a 1% din durata de viaţă a T.A. de 800 MVA , rezultă de aproximativ:

720*7000*(30/100)*45 = 68.000.000 $

Cum rezultatele obţinute arată că valoarea oboselii torsionale în cazul unui singur defect poate atinge 28÷36 % din oboseala totală admisibilă (din durata totală de viaţă a T.A.), reiese clar seriozitatea acestei probleme în cazul T.A. de 800 MVA.

Concluzii

Analiza aplicativă a problemei solicitărilor torsionale variabile generate de defecte electrice, efectuată pentru cazul deosebit de important pentru SEN al turboagregatului de 800 MVA, 1500 rot/min de la C.N.E. Cernavodă, cu ajutorul unui program de calcul elaborat în acest scop, a permis obţinerea rezultatelor şi concluziilor ce pot fi sintetizate astfel:

1. Cu toată complexitatea, aproape fără limite, a proceselor electromagnetice şi electromecanice care apar în urma defectelor în reţelele electrice şi generează oscilaţiile torsionale ale arborilor turboagregatelor, studiul de faţă arată că este posibilă modelarea relativ simplă a interacţiunilor esenţiale care se manifestă în desfăşurarea acestor procese.

2. Rezultatele obţinute, care sunt în bună concordanţă cu cele publicate pentru turboagregate şi condiţii de calcul similare şi care au fost confirmate şi de constructorul turboagregatului de 800 MVA de la CNE Cernavodă- firma General Electric S.U.A., pun în evidenţă, în principal, următoarele:

a) în cazul unor defecte polifazate localizate în reţeaua de 400 kV adiacentă CNE, pot apărea cupluri torsionale variabile de ordinul 2,0÷3,5 u.r. (în funcţie de timpul de deconectare a defectului). Aceste cupluri provoacă deformaţii permanente, deoarece depăşesc limita solicitărilor elastice a arborelui acestui agregat cu cel putin 30÷60 % , precum şi valori ale oboselii torsionale (consum din durata de viaţă a turboagregatului pe incident) de 28÷40 %.

b) această situaţie are două explicaţii :

• turboagregatul de 800 MVA , fiind proiectat pe baza concepţiilor de dimensionare anterioare etapei 1975, nu suportă cupluri variabile ce depăşesc un anumit nivel, relativ scăzut. Valoarea admisibilă a cuplului variabil, în cazul acestui turboagregat, este de 1,5 u.r. În această situaţie se găsesc toate turboagatele existente, noile criterii de dimensionare, care iau în considerare şi procesele oscilante torsionale, fiind încă în curs de elaborare. În afară de aceasta, s-a aratat ca turboagregatele cu patru poli au o rezistenţă mult mai scăzută la solicitări torsionale , decât cele cu doi poli (în acest caz de aproximativ 3÷6 ori).

• aşa cum a rezultat din calcule, timpii de declanşare stabiliţi în prezent fără considerarea oscilaţiilor torsionale, determină comutaţii în momente defavorabile, ceea ce agravează solicitările aplicate liniei de arbori şi măreşte oboseala torsională acumulată pe incident.

3. Atât riscul în sine al unor avarii mecanice grave, cât şi consecinţele economice deosebit de grele care ar putea rezulta, fac imperios necesară adoptarea şi implementarea cât mai urgentă a măsurilor de protecţie specifice, măsuri care în alte ţări au devenit o practică curentă.

Autorul exprimă mulţumirile sale d-lui prof.ing. Grecu Titus şi d-lui prof.dr.ing. Mircea Radeş, pentru sprijinul, îndrumările şi sugestiile date, precum şi conducerii ICPET S.A. pentru acordul referitor la utilizarea datelor de calcul.

BIBLIOGRAFIE

[1] Abolins, A., Lambrecht, D., Joice, S., Rosenberg, T.L. *Effect of Clearing Short Circuits and Automatic Reclosing on Torsional Stess and Life Expenditure of Turbine-Generator Shafts.* In: I.E.E.E. Transactions on P.A.S., Vol. P.A.S. -95 No.1, Janary/February 1976.

[2] Goosens, J.F., Calvaer, A.J., Soenen, L.J. *Full Scale Short-Circuit and Other Tests on the Dynamic Torsional Response of Rodenhise Nr. - 300 MW, 3000 r.p.m. Turbogenerator.* In: I.E.E.E. Transactions on P.A.S., Vol.P.A.S.-100 No.9, September

[3] Canay, I.M., Rohrer, H.J., Schnirel, K.E. *Effect of Electrical Disturbances, Grid Recovery Voltage and Generator Inertia on Maximization of Mechanical Torque in Large Turbogenerators Sets.* In: I.E.E.E. Transactions on P.A.S., Vol.P.A.S.-99 No.4, July/August 1980

[4] Gross, G., Hall, M.C. *Synchronous Machine and Torsional Dynamics Simulation in the Computation of Electromagnetic Transients.* In: I.E.E.E. Transaction on P.A.S., Vol.P.A.S.-97 No.4, July/August 1978

[5] Concordia, C. *Synchronous Machines. Theory and Perfomance.* John Wiley and Sons, New York, 1951

[6] x x x *Effects of Switching Network Disturbances on Turbine-Generator Shaft System.* I.E.E.E. Working Group Interim Report. In: I.E.E.E. Transactions on P.A.S., Vol. P.A.S.- 101 No. 9 September 1982.

[7] I.E.E.E. *Screening Guide for Planned Steady-State Switching Operations to Minimize Harmful Effects on Steam Turbine-Generators.* In: I.E.E.E. Transactions on P.A.S. Vol. P.A.S.- 99 No.4 August 1980.

[8] *Automatic Reclosing of Transmission Lines,* I.E.E.E. Power Systems Relayng Committee Report. In: I.E.E.E. Transactions on P.A.S. Vol. P.A.S.-103 No.2 February 1984.

[9] x x x *Recomandări pentru funcţionarea interconectată în U.C.P.T.E.*: R.A. UCPTE 1979 - 1980 No.28 pag.308.

[10] Joyce, J. S., Kulig, T., Lambrecht, D. *Torsional Fatigue of Turbine - Generator Shafts Caused by D. fferent Electrical Systema Faults and Switching Operations.* In: I.E.E.E. Transations on P.A.S. Vol. P.A.S. - 97 No. 5 Sept/Oct. 1988

[11] Rusche P.A.E. *Network Alternatives to Reduce Turbine-Generator Shaft-Stresses.* In: I.E.E.E. Transactions on P.A.S. Vol.P.A.S.- 98 No.2 March/April 1979.

[12] Arcidiacono, V., Raffaelli, C., Rosa, E., Russo, F. *Systeme de surveillance des oscillations torsionnelles electromecaniques pour l'evaluation de la resistance a la fatigue des arbres des grands turbo-generateurs.* C.I.G.R.E. 1990 Raport 11-103.

[13] x x x *Determination of Torsional Fatigue Life of Large Turbine Generator Shafts.* E.P.R.I.- General Electric: Research Project 1531 Final Report, April 1984

[14] Rusche, P.A., Katsiapis Z.A., Triezenberg, D.M. *Turbine-Generator Shaft Related System Planning Criteria, Operating Experiences and Selected Study Results.* In: I.E.E.E. Transactions on P.A.S. Vol.P.A.S.-99, No.6 Nov/Dec. 1980.

[15] Shanon, R. E. *Systems Simulation, The Art and Science.* Prentice-Hall,Inc.,Englewood Cliffs New Jersey 1975

[16] Wiedeman, E.,Kellenberger, W. *Konstruktion Elektrischer Maschinen.* Springer-Verlag, Berlin (Heidelberg), New York, 1967

[17] Hammons, T.J.*Effect of Three-phase System Faults and Faulty Synchronisation on the Mechanical stressing of large turbine-generators.* In: R.G.E. -Tome 86- No. 7/8 Juillet-Aout 1977

[18] Buzdugan, Gh., Blumenfeld, M. *Calculul de rezistenţă al pieselor de maşini.* Editura Tehnică, Bucuresti, 1979.

[19] Rusu, O.şi colab. *Oboseala metalelor.* 1. *Baze de calcul. 2.Aplicaţii inginereşti.* Editura Tehnică Bucureşti, 1992.

[20] Haviland Robert, P. *Engineering Reliability and Long Life Design.* D. van Nostrand Company Inc., Princeton, New Jersey 1960.

Referent: dr. ing. Marius Pomârleanu - Grupul de Studii, Cercetări şi Tehnologie - GSCI, Bucureşti

(Primit la12 martie 1996, acceptat la 7 iunie 1996)

Informaţii

În revista Energetica numărul 4, seria A/1996 au apărut următoarele materiale:

DUMITRU CEZAR IONESCU : Masa rotundă "Siguranţa în funcţionare a instalaţiilor energetice" - prezentare

MANFRED STEIN, CHRISTIANA BĂRBULESCU, DAN ANASTASIU, DUMITRU CEZAR IONESCU, PAUL ILIESCU-SALIGNY, VASILE IORDACHE: Unele consideraţii privind noţiunea de risc şi managementul acestuia în instalaţiile energetice

HERMINA ALBERT, DAN PREOŢESCU: Analiza automată a siguranţei în funcţionare a reţelelor electrice

FLORIN MUNTEANU, DUMITRU IVAS, DUMITRU COCA: Analiza probabilistică a dependenţei fiabilitate - consum propriu tehnologic în cazul reţelelor de distribuţie a energiei electrice

MIHAELA DOBRIN: Aspecte specifice privind analiza fiabilităţii instalaţiei de automatizare din centralele electrice pentru sistemul de măsură - reglare şi comandă

DUMITRU CEZAR IONESCU: Generarea automată a modelelor markoviene de fiabilitate cu ajutorul algebrei Kronecker

ANATOLI PAUL ULMEANU: Asupra utilizării reţelelor PETRI şi a proceselor aleatoare semi-Markov în analiza fiabilităţii sistemelor cu mentenanţă programată

MANFRED STEIN, CHRISTIANA BĂRBULESCU, ALEXANDRU MOLNAR: Contribuţii la aplicarea RCM (Realiability Centered Maintenance) în instalaţiile energetice

MANIFESTĂRI TEHNICO-ŞTIINŢIFICE

* * * Congresul VGB 1996

RECENZII

EUGENIU PAVEL: Lane , D. "Italian Electricity Towards Privatisation and Beyond 2000" (Industria energie din Italia spre privatizare şi perspectivele acesteia după anul 2000)

ION IONIŢA: Bejan, A., Tsatsaronis, G., Moran, M. "Thermal Design and Optimization" (Proiectarea şi optimizarea sistemelor termice)

DIN ENERGETICA MONDIALĂ

SOLUŢIE PENTRU EVITAREA DEFECTĂRII ÎNFĂŞURĂRII TERŢIARE LA AUTOTRANSFORMATOARELE DE 200/200/60 MVA 231/121/10,5 kV LA SCURTCIRCUITE MONOFAZATE ÎN REŢELE DE 110 kV ŞI 220 kV

dr.ing.CONSTANTIN MOLDOVEANU *; ing.CONSTANTIN RADU *;
ing.VIOREL GRIGORIU **; ing.VLAD ROŞCA *

În urma producerii unor defecţiuni sistematice la înfăşurările terţiare aferente autotransformatoarelor de 200/200/60 MVA 231/121/10,5 kV cu prilejul unor scurtcircuite monofazate în reţelele RENEL de 110 sau 220 kV, s-au efectuat investigaţii privind cauzele acestor avarii şi reconsiderarea problemei stabilităţii la eforturi electrodinamice a înfăşurărilor autotransformatoarelor respective. Analizele efectuate au scos în evidenţă că solicitările electrodinamice la scurtcircuite în reţea pot să depăşească rezistenţa specifică a autotransformatoarelor de tipul precizat.

Pentru evitarea producerii a noi astfel de defecte s-au propus mai multe soluţii, dintre care cea mai puţin costisitoare şi cea mai rapid de aplicat constă în montarea unei bobine de reactanţă de 4.5 Ω, de construcţie specială, între neutrul înfăşurărilor de înaltă tensiune ale autotransformatoarelor şi pământ.

After systematic damages of the tertiary windings of the 200/200/60 MVA 231/121/10.5 kV autotransformers in the RENEL 110 or 220 kV networks due to monophase shortcircuits, investigations were carried on to establish the causes of these failures and reconsider the problem of stability to electrodynamic stresses of the respective autotransformer windings. The analyses pointed ont the fact that the electrodynamic stresses during network short-circuits can surpass the specific resistance of the autotransformers of the respective type.

In order to avoid the appearance of such new damages, several solutions were proposed among which the cheapest and the quickest one is to mount a 4.5 Ω reactor of a special desing between the high voltage windings neutral of the autotransformerss and the ground.

Descriptori: autotransformatoare, defectare înfăşurări, scurtcircuite monofazate

Introducere

Pentru realizarea interconectării reţelelor de 110 şi 220 kV din sistemul energetic român sunt folosite 90 autotransformatoare de 200/200/60 MVA 231/121/10,5 kV, instalate în 57 staţii de transformare. Utilizarea lor a fost considerată mai avantajoasă comparativ cu utilizarea transformatoarelor, datorită următoarelor considerente : preţ de cost mai scăzut, pierderi mai reduse (deci preţ de transport al energiei mai redus) , dimensiuni mai mici, randament mai mare, reglaj mai bun , curenţi de magnetizare mai mici .

Inconvenientul major al utilizării acestor autotransformatoare l-a constituit creşterea curenţilor de scurtcircuit, datorită faptului că reactanţa autotransformatoarelor este mai redusă decât a transformatoarelor şi pentru că punctul neutru al înfăşurărilor de 110 şi 220 kV este legat la pământ, pentru a se permite reducerea degresivă a izolaţiei înfăşurărilor. În general, această problemă este mai importantă în reţeaua de 110 kV , unde puterile de scurtcircuit au atins în multe staţii valori apropiate de limitele plafon .

* RENEL - Grupul de Studii, Cercetare şi Inginerie - GSCI, Bucureşti
** RENEL - Grupul de Transport şi Distribuţie a Energiei Electrice - GTDEE, Bucureşti

Toate cele 90 de autotransformatoare de tipul menţionat au înfăşurare terţiară conectată în triunghi , scopul acesteia fiind în principal de a proteja autotransformatorul şi sistemul contra tensiunilor de armonică trei excesiv de mari, de a preveni interferenţa telefonică datorată curenţilor şi tensiunilor de armonică trei în liniile şi conexiunile de legare la pământ, respectiv de alimentare a unor compensatoare .

În timpul exploatării autotransformatoarelor menţionate s-au produs 14 defecţiuni la înfăşurarea lor terţiară , datorită , în principal , unor scurtcircuite monofazate în reţelele de 110 şi 220 kV. Frecvenţa ridicată a conectărilor şi deconectărilor la reţea a autotransformatoarelor, respectiv durata îndelungată de exploatare a lor (durata medie circa 22 ani) au constituit factorii favorizanţi ai defecţiunilor produse .

În exploatare, avarierea unui astfel de autotransformator constituie un eveniment extrem de grav, printre altele, datorită necesităţii înlocuirii echipamentului avariat cu unul în bună stare de funcţionare .

Avaria necesită o intervenţie imediată, dar dimensiunile şi masa autotransformatorului avariat complică manopera şi problemele de rezolvat . În cazul defecţiunilor la înfăşurarea terţiară trebuie avută în vedere necesitatea transportului autotransformatorului la fabrică sau la un atelier de reparaţie specializat, aceasta fiind o operaţie complicată întrucât implică un mare volum de muncă , disponibilitatea mijloacelor de ridicat şi de transport (treiler sau vagon special) necesare, greu de obţinut într-un timp scurt .

Transportul autotransformatorului la fabrică sau la atelierul de reparaţie este el însuşi un proces lent . La fabrică sau la atelier nu trebuie să se conteze pe o durată a reparaţiei mai scurtă de de 6 - 9 luni, aceasta datorită complicaţiilor de coordonare a diferitelor operaţii . Din aceste cauze intervalul de timp între momentele avarierii şi repunerii în funcţiune a autotransformatorului respectiv este foarte lung , de regulă mai mare de un an .

Calea cea mai sigură pentru reducerea probabilităţii de defectare a înfăşurării terţiare la autotransformatoarele de 200/200/60 MVA 231/121/10,5 kV din sistemul energetic naţional constă în reducerea solicitărilor electrodinamice în această înfăşurare la valori la care să nu fie periclitată integritatea ei .

1. Solicitările în înfăşurarea terţiară a autotransformatorului de 200/200/60 MVA 231/121/10,5 kV la scurtcircuite monofazate în reţelele de 110 şi 220 kV sau la cuplarea lui la reţea

1.1.Solicitări la scurtcircuite monofazate în reţeaua de 220 kV

Un defect fază - pământ pe partea de înaltă tensiune a autotransformatorului menţionat, în cazul neutrului legat direct la pământ, determină circulaţia de curenţi precizată în figura 1[1, 2, 3, 4].

Circuitul echivalent pentru calculul curenţilor menţionaţi în figura1 este prezentat în figura 2.

În circuitul echivalent, impedanţele sunt grupate în trei grupe corespunzătoare secvenţelor directă , inversă şi homopolară . Fiecare din cele trei grupe constituie o reţea, a cărei valoare echivalentă $(Z_d),(Z_i),(Z_h)$ poate fi calculată din componentele sale . Cele trei grupe sunt conectate în serie, astfel încât curenţii care circulă prin ele sunt egali.

Considerând că în timpul scurtcircuitului, pe linie este menţinută tensiunea nominală , pentru calculul valorii curenţilor I_d, I_i, I_h se foloseşte relaţia (1):

$$I_d = I_i = I_h = \frac{100 \times I_n}{Z_d + Z_i + Z_h} = \frac{100 \times I_n}{Z_e} \qquad (1)$$

Valoarea curentului care circulă prin neutrul înfăşurării în stea a autotransformatorului se determină cu relaţia (2) sau (3):

$$I_{hN} = \frac{(Z_{h2} + Z_{hSJT}) \times Z_h \times I_h}{Z_{h1} \times Z_{h3} + (Z_{h1} + Z_{h3}) \times (Z_{h2} + Z_{hSJT})} \qquad (2)$$

$$I_{hN} = \frac{Z_h \times (Z_{h2} + Z_{hSJT}) \times I_h}{Z_{h1} \times Z_{hn} + (Z_{h1} + Z_{hN}) \times (Z_{h2} + Z_{hSJT})} \qquad (3)$$

unde:

$$Z_d = Z_i = \frac{Z_{dSIT} \times (Z_{d1-2} + Z_{dSJT})}{Z_{dSIT} + Z_{d1-2} + Z_{dSJT}} \qquad (4)$$

$$Z_h = \frac{Z_{hSIT} \times \left(\frac{Z_{hN} \times (Z_{h2} + Z_{hSJT})}{Z_{hN} + Z_{h2} + Z_{hSJT}} + Z_{h1}\right)}{Z_{hSIT} + \frac{Z_{hN} \times (Z_{h2} + Z_{hSJT})}{Z_{hN} + Z_{h2} + Z_{hSJT}} + Z_{h1}} \qquad (5)$$

Ţinând seama de faptul că neutrul înfăşurării autotransformatorului este legat direct la pământ şi că înfăşurarea terţiară nu are înseriate bobine suplimentare de limitare a curentului, se poate considera că $Z_{hN} = Z_{h3}$.

Valoarea curentului care solicită înfăşurarea terţiară a autotransformatorului la scurtcircuit monofazat se determină cu relaţia (6):

$$I_{SCT} = I_{hN} \times \frac{S_b}{S_n} \qquad (6)$$

unde:

S_b este puterea de bază la care s-au efectuat calculele impedanţelor în %;

S_n - puterea nominală a înfăşurării terţiare.

În figura 1 şi în relaţiile de calcul au fost folosite notaţii ale căror semnificaţii sunt prezentate în anexă.

Calculul impedanţelor sistemului s-a efectuat pentru următoarele condiţii :

- puterea de scurtcircuit a reţelei de înaltă tensiune (220 kV) şi a celei de joasă tensiune (110 kV) egală cu puterea limită din standard (20 000 MVA şi respectiv 6 000 MVA);
- raportul $Z_{hSIT} / Z_{dSIT} = 3$ pentru reţeaua de 220 kV;
- raportul $Z_{hSJT} / Z_{dSJT} = 2$ pentru reţeaua de 110 kV.

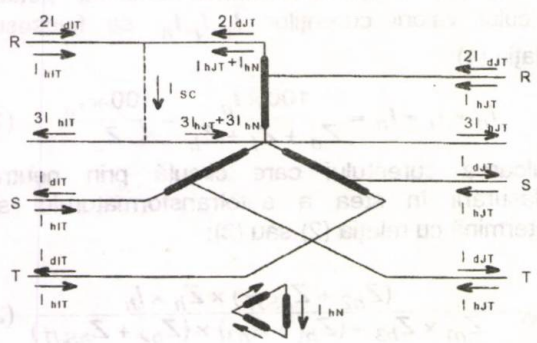


Fig. 1 Distribuţia curenţilor de defect la un scurtcircuit linie-neutru pe partea de înaltă tensiune a autotransformatorului conectat în stea cu o înfăşurare terţiară conectată în triunghi.

Au rezultat astfel :

- pentru puterea de bază $S_b = 200$ MVA:

$Z_{dSIT} = 1\%$, $Z_{dSJT} = 3{,}33\%$, $Z_{hSIT} = 3\%$, $Z_{hSJT} = 6{,}66\%$

- pentru puterea de bază $S_b = 60$ MVA:

$Z_{dSIT} = 0{,}3\%$, $Z_{dSJT} = 0{,}999\%$, $Z_{hSIT} = 0{,}9\%$, $Z_{hSJT} = 1{,}998\%$

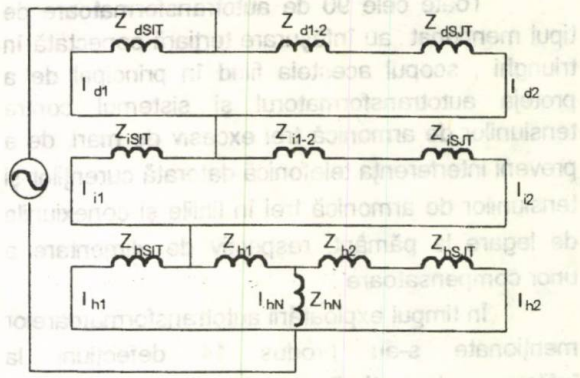


Fig. 2. Circuitul echivalent pentru figura 1.

În tabelul 1 sunt prezentate valorile impedanţelor autotransformatorului de 200/200/60 MVA 231± 15%/121/10,5 kV, 500/954,5/3299 A .

Tabelul 1

Impedanţa	Valoarea impedanţei [%] raportată la puterea de 200 MVA	Valoarea impedanţei [%] raportată la puterea de 60 MVA	Tensiunea nominală [kV]
Z_{1-2}	9,67	2,9	231
Z_{1-3}	32,5	9,75	231
Z_{2-3}	9,79	5,94	121
Z_{d1}	11,19	3,357	231
Z_{d2}	-1,52	-0,48	121
Z_{d3}	21,31	6,38	10,5
Z_{h1}	11,13	3,357	231
Z_{h2}	-1,52	-0,48	121
Z_{h3}	21,31	6,38	10,5

La calcularea impedanţelor de secvenţă zero în circuitul echivalent de secvenţă zero al autotransformatorului s-a ţinut seama că acestea sunt practic egale cu cele din circuitul de secvenţă directă (deci $Z_{h1} = Z_{d1}$, $Z_{h2} = Z_{d2}$, iar $Z_{h3} = Z_{d3}$).

Ţinând seama de relaţiile menţionate şi de tabelul 1 , au rezultat valorile :

$$Z_d = Z_i = 0{,}93\%$$

$$Z_h = 2{,}5\%$$

Considerând că la un scurtcircuit pe linie este menţinută tensiunea nominală , rezultă :

$$I_d = I_i = I_h = \frac{100 \times I_n}{Z_d + Z_i + Z_h} = 22{,}94\ I_n, \qquad (7)$$

$$I_{hN} = 0{,}75 I_n = k_1 \times I_n \qquad (8)$$

Sarcina prin neutrul autotransformatorului în timpul scurtcircuitului menţionat se determină cu relaţia:

$$S_{SChN} = k_1 \times S_b = 0{,}75 \times 200 = 150 \quad MVA \qquad (9)$$

Multiplul curentului de circulaţie în înfăşurarea terţiară a autotransformatorului, la scurtcircuit monofazat, în raport cu curentul ei nominal, se determină cu relaţia:

$$k_T = \frac{I_{SCT}}{I_{nT}} = \frac{S_{SChN}}{S_{SCnT}} = \frac{150}{60} = 2{,}5 . \qquad (10)$$

Deci : $I_{SCT} = 2{,}5 \times I_{nT}$.

1.2.Solicitări la scurtcircuite monofazate în reţeaua de 110 kV

Un defect fază - pământ pe partea de joasă tensiune a autotransformatorului menţionat, în cazul în care neutrul acestuia este legat direct la pământ, determină circulaţia de curenţi menţionată în figura 3 .

Circuitul echivalent pentru calculul curenţilor menţionaţi în figura 3 este prezentat în figura 4 .

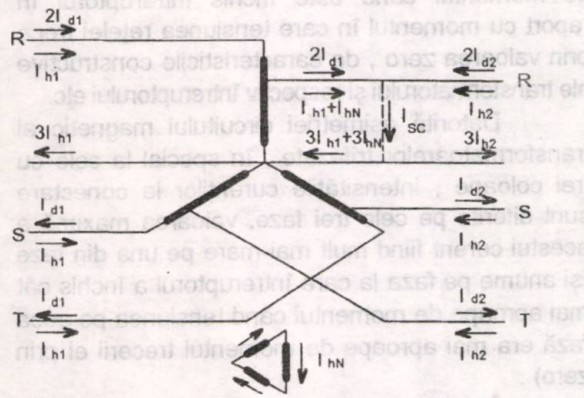


Fig. 3. Distribuţia curenţilor de defect la un scurtcircuit linie-neutru pe partea de joasă tensiune a autotransformatorului conectat în stea cu o înfăşurare terţiară conectată în triunghi.

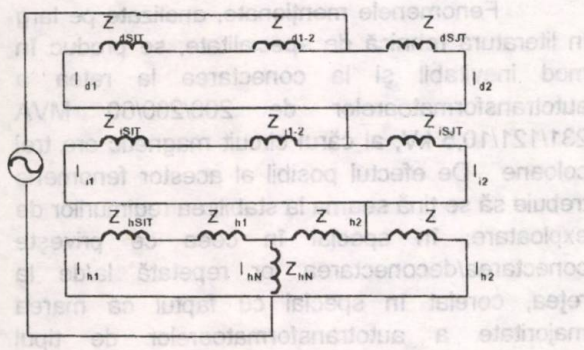


Fig. 4. Circuitul echivalent pentru figura 3.

Considerând că în timpul scurtcircuitului, pe linie este menţinută tensiunea nominală, rezultă:

$$I_d = I_i = I_h = \frac{100 \times I_n}{Z_d + Z_i + Z_h} = \frac{100 \times I_n}{Z_e} \qquad (11)$$

Conform figurilor 3 şi 4, impedanţele $(Z_d),(Z_i),(Z_h)$ se determină cu relaţiile:

$$Z_d = Z_i = \frac{Z_{dSJT} \times (Z_{dSIT} + Z_{d1-2})}{Z_{dSJT} + Z_{dSIT} + Z_{d1-2}} \qquad (12)$$

$$Z_h = \frac{Z_{hSJT} \times \left(\frac{Z_{hN} \times (Z_{h1} + Z_{hSIT})}{Z_{hN} + Z_{h1} + Z_{hSIT}} + Z_{h2}\right)}{Z_{hSJT} + \frac{Z_{hN} \times (Z_{h1} + Z_{hSIT})}{Z_{hN} + Z_{h1} + Z_{hSIT}} + Z_{h2}} \qquad (13)$$

Înlocuind în relaţiile (12) şi (13) valorile impedanţelor date în tabelul 1 sau calculate conform pct. 1.1. , rezultă :

$$Z_d = Z_i = 2{,}5\ \%$$

$$Z_h = 3{,}41\%,$$

iar

$$I_d = I_i = I_h = 11{,}79\ \%$$

Curentul de secvenţă zero care trece prin circuitul aferent neutrului autotransformatorului şi prin înfăşurarea terţiară se determină cu relaţia :

$$I_{hN} = \frac{Z_h \times (Z_{h1} + Z_{hSIT}) \times I_h}{Z_{h2} \times Z_{hN} + (Z_{h2} + Z_{hN}) \times (Z_{h1} + Z_{hSIT})} \qquad (14)$$

Înlocuind în relaţia (14) valorile cunoscute pentru impedanţe, se determină următoarea valoare pentru curentul de secvenţă zero:

$$I_{hN} = 2{,}28 I_n = k_2 \times I_n$$

Sarcina prin neutrul autotransformatorului în timpul scurtcircuitului menţionat se determină cu relaţia:

$$S_{SC0N} = k_2 \times S_b = 2{,}28 \times 200 = 456 \quad MVA \qquad (15)$$

Multiplul curentului de circulaţie în înfăşurarea terţiară a autotransformatorului la un scurtcircuit monofazat în reţeaua de 110 kV se determină cu relaţia :

$$k_T = \frac{I_{SCT}}{I_{nT}} = \frac{S_{SChN}}{S_{SCnT}} = \frac{456}{60} = 7{,}6 \qquad (16)$$

Deci : $I_{SCT} = 7{,}65 \times I_{nT}$

1.3.Scurtcircuite monofazate simultane, pe aceeaşi fază , în reţelele de 110 kV şi 220 kV

Circuitul echivalent pentru un astfel de tip de defect este prezentat în figura 5 .

Considerând că în timpul scurtcircuitului , pe linii este menţinută tensiunea nominală, pentru calculul valorii curenţilor se poate folosi relaţia :

$$I_d = I_i = I_h = \frac{100 \times I_n}{Z_d + Z_i + Z_h} = \frac{100 \times I_n}{Z_e} \quad (17)$$

Conform figurii 5, impedanţele $(Z_d),(Z_i),(Z_h)$ se pot determina cu relaţiile :

$$Z_d = Z_i = \frac{Z_{dSIT} \times Z_{dSJT}}{Z_{dSIT} + Z_{dSJT}} \quad (18)$$

$$Z_h = \frac{(Z_{hN} + \frac{Z_{hN} \times Z_{h2}}{Z_{hN} + Z_{h2}}) \times \frac{Z_{hSIT} \times Z_{hSJT}}{Z_{hSIT} + Z_{hSJT}}}{Z_{hN} + \frac{Z_{hN} \times Z_{h2}}{Z_{hN} + Z_{h2}} + \frac{Z_{hSIT} \times Z_{hSJT}}{Z_{hSIT} + Z_{hSJT}}} \quad (19)$$

Înlocuind în relaţiile (18) şi (19) valorile cunoscute pentru impedanţe , rezultă :

$Z_d = Z_i = 0{,}769$ %

$Z_h = 0{,}87$ %

Deci :

$I_d = I_i = I_h = 29{,}34 I_n$

Curentul care trece prin circuitul neutrului autotransformatorului şi prin înfăşurarea lui terţiară se determină cu relaţia :

$$I_{hN} = \frac{Z_h}{Z_{hN} + \frac{Z_{h1} \times Z_{h2}}{Z_{h1} + Z_{h2}}} \times I_h \quad (20)$$

Înlocuind valorile cunoscute pentru impedanţe şi curentul I_0 rezultă :

$$I_{hN} = 2{,}804 I_n = k_3 \times I_n$$

Sarcina care trece prin circuitul neutrului autotransformatorului se determină cu relaţia:

$$S_{SChN} = k_3 \times S_b = 2{,}804 \times 200 = 561 \ MVA \quad (21)$$

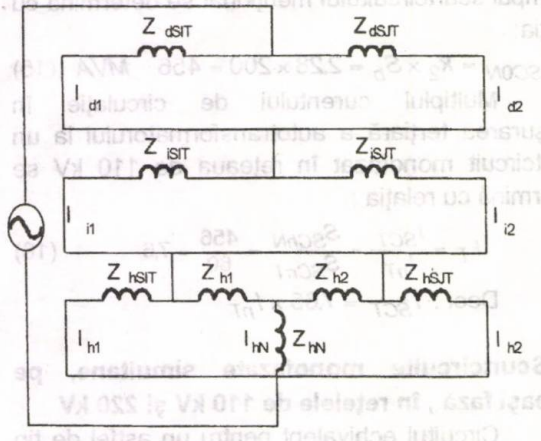


Fig. 5. Circuitul echivalent pentru scurtcircuite linie-neutru pe aceeaşi fază la ambele borne de înaltă şi joasă tensiune ale autotransformatorului trifazat conectat în stea şi cu o înfăşurare terţiară conectată în triunghi.

La scurtcircuit monofazat simultan atât pe partea de înaltă tensiune, cât şi pe partea de joasă tensiune, pe aceeaşi fază, valoarea supracurentului care solicită înfăşurarea terţiară a autotransformatorului de 200/200/60 MVA este :

$$I_{SCT} = k_3 \times I_{nT} \times \frac{S_b}{S_{nT}} = 2{,}804 \times I_{nT} \times \frac{200}{60} = 9{,}35 \times I_{nT}$$

Deci :

$$I_{SCT} = 9{,}35 \times I_{nT}$$

1.4. Solicitări în înfăşurarea terţiară la cuplarea la reţea a autotransformatorului

La conectarea la reţea a transformatoarelor de putere, curenţii sunt în general foarte mari, intensitatea lor putând ajunge la de 10 ori valoarea de vârf a curentului nominal sau chiar mai mari. La unităţile mari de transformare , valorile foarte mari ale curentului de conectare pot persista 10 secunde sau chiar mai mult [5, 6].

Valoarea curentului la conectarea la reţea a transformatorului depinde de fluxul remanent în coloanele miezului magnetic al transformatorului, de momentul când este închis întreruptorul în raport cu momentul în care tensiunea reţelei trece prin valoarea zero , de caracteristicile constructive ale transformatorului şi respectiv întreruptorului etc.

Datorită asimetriei circuitului magnetic al transformatoarelor trifazate , în special la cele cu trei coloane , intensităţile curenţilor la conectare sunt diferite pe cele trei faze, valoarea maximă a acestui curent fiind mult mai mare pe una din faze (şi anume pe faza la care întreruptorul a închis cât mai aproape de momentul când tensiunea pe acea fază era mai aproape de momentul trecerii ei prin zero) .

În astfel de cazuri, curentul homopolar care circulă prin legătura la pământ a neutrului transformatorului are valoare importantă, uneori el determinând chiar funcţionarea protecţiei homopolare .

Fenomenele menţionate, analizate pe larg în literatura tehnică de specialitate, se produc în mod inevitabil şi la conectarea la reţea a autotransformatoarelor de 200/200/60 MVA 231/121/10,5 kV, al cărui circuit magnetic are trei coloane . De efectul posibil al acestor fenomene trebuie să se ţină seama la stabilirea regimurilor de exploatare, în special în ceea ce priveşte conectarea/deconectarea lor repetată la/de la reţea, corelat în special cu faptul că marea majoritate a autotransformatoarelor de tipul menţionat au durată mare de exploatare .

2. Analiza comparativă a datelor experimentale şi de calcul privind solicitările în înfăşurarea terţiară a autotransformatorului de 200/200/60 MVA 231/121/10,5 kV

Rezultatele calculelor prezentate detaliat la pct. 2 şi centralizat în tabelul 2 indică faptul că solicitările maxime care se produc în timpul exploatării autotransformatorului, cu prilejul scurtcircuitelor monofazate în reţelele de 110 kV şi 220kV , sunt sub valorile pentru care s-a garantat (prin calcul) de către furnizor stabilitatea înfăşurării terţiare .

Aceste rezultate indică, de asemenea, faptul că în cazul scurtcircuitelor monofazate, pe partea de 110 kV (scurtcircuit în reţea sau la barele staţiei), solicitările electrodinamice la care este supusă înfăşurarea terţiară a autotransformatorului de 200/200/60 MVA de tipul analizat sunt mult mai mari (de circa 9 ori) decât în cazul scurtcircuitelor monofazate pe partea de 220 kV. Aceasta explică, deci , de ce s-au produs cele mai multe deteriorări cu prilejul scurtcircuitelor monofazate pe partea de 110 kV.

Tabelul 2

Nr. crt.	Tipul scurtcircuitului	Curentul de scurtcircuit în înfăşurarea terţiară a autotransformatorului	
		Valori maxime posibile în exploatare	Valoarea la care s-a garantat stabilitatea
1	Scurtcircuit monofazat în reţeaua de 220 kV	$2,5 \times I_{nT}$	$15,76 \times I_{nT}$
2	Scurtcircuit monofazat în reţeaua de 110 kV	$7,6 \times I_{nT}$	
3	Scurtcircuite monofazate, simultane pe aceeaşi fază în reţelele de 110 kV şi 220 kV	$9,35 \times I_{nT}$	

Deteriorările repetate produse la înfăşurarea terţiară a autotransformatoarelor de 200/200/60 MVA din exploatare poate avea cauze multiple, cum ar fi: stabilitatea electrodinamică insuficientă a înfăşurării terţiare a autotransformatoarelor de 200/200/60 MVA 231/121/10,5 kV; scăderea în timpul exploatării a precomprimării bobinelor ca urmare a fenomenului inevitabil de tasare a izolaţiei solide; slăbirea consolidării mecanice a înfăşurărilor ca urmare a eforturilor electrodinamice ce s-au produs în timpul exploatării autotransformatoarelor cu prilejul scurtcircuitelor în reţea sau a conectărilor repetate la reţea etc. Toate cele menţionate arată că, nivelul garantat prin contractele cu furnizorul nu a fost cel real. Se impun noi soluţii tehnologice şi verificări mai complete la recepţia de calitate a autotransformatoarelor.

3. Soluţii pentru reducerea riscului de defectare a autotransformatorului de 200/200/60 MVA 231/121/10,5 kV

Prelungirea duratei de funcţionare a actualelor autotransformatoare de 200/200/60 MVA 231/121/10,5 kV din sistemul energetic naţional, a căror durată de funcţionare în majoritatea cazurilor este apropiată de 25 ani (considerată în general ca durată de viaţă financiară), se poate face aplicând una sau mai multe din următoarele măsuri:

① diminuarea curenţilor de defect în autotransformator datorită scurtcircuitelor externe prin instalarea unei bobine de legătură neutrului înfăşurărilor la pământ;

② introducerea unor restricţii de exploatare în ceea ce priveşte conectările şi deconectările repetate la reţea ale autotransformatoarelor;

③ îmbunătăţirea protecţiilor la supratensiuni prin introducerea descărcătoarelor cu oxid de zinc .

Soluţia de la pct. ① are drept scop creşterea capacităţii de rezistenţă la eforturi electrodinamice a înfăşurărilor autotransformatorului la scurtcircuite monofazate în reţelele de 110 kV şi 220 kV.

Pentru stabilirea caracteristicilor tehnice ale bobinei s-au avut în vedere următoarele ipoteze:

❶ Valoarea impedanţei bobinei de legare la pământ a neutrului înfăşurărilor autotransformatorului se alege astfel încât în cazul unui scurtcircuit monofazat în reţeaua de 110 kV se limitează curentul de defect în înfăşurarea terţiară la o valoare egală cu 1/2 din curentul de scurtcircuit maxim care poate solicita această înfăşurare (şi care, aşa cum s-a arătat, a determinat deteriorări repetate), când neutrul autotransformatorului este legat direct la pământ.

❷ Curentul nominal pentru funcţionarea continuă a bobinei se alege ţinând seama de curentul de dezechilibru maxim admisibil pentru funcţionarea de durată a autotransformatorului.

❸ Curentul nominal pentru funcţionarea de scurtă durată (10 s) a bobinei se alege ţinând seama de valoarea curentului care poate solicita bobina în cazul unui scurtcircuit simultan, pe aceeaşi fază , în reţelele de 110 kV şi 220 kV.

❹ Nivelul de izolaţie al bobinei se alege ţinând seama de: căderea de tensiune maximă pe bobină în momentul parcurgerii ei de curenţii de scurtcircuit, de repartiţia tensiunii pe autotransformator şi bobină în cazul solicitărilor la supratensiuni de comutaţie, de faptul că ea este conectată între nulul autotransformatorului şi pământ , de regulile de coordonare a izolaţiei.

❺ Soluţia constructivă a bobinei se alege astfel încât să confere maximum de siguranţă în funcţionare, să necesite adaptări minime pentru introducerea ei în exploatare, să implice cheltuieli de întreţinere minime.

Pornind de la principiile de bază enumerate, de la relaţiile de calcul prezentate şi respectiv de la datele caracteristice ale autotransformatorului de 200/200/60 MVA 231/121/10,5 kV şi ale reţelelor de 110 şi 220 kV, s-a ajuns la concluzia că pentru limitarea la maximum 6 kA a curentului de scurtcircuit care solicită înfăşurarea terţiară a autotransformatorului de tipul menţionat este necesar să se monteze între neutrul înfăşurărilor acestuia şi pământ o bobină de reactanţă având următoarele caracteristici tehnice principale , optime :

① impedanţa nominală: 4,5 Ω;

② tensiunea nominală: 72,5 kV;

③ curentul nominal pentru funcţionarea permanentă: 250 A;

④ curentul nominal pentru funcţionarea de scurtă durată (10 s): 6 kA;

⑤ frecvenţa nominală: 50 Hz;

⑥ tipul răcirii: AN;

⑦ nivelul de izolaţie definit astfel:

- izolaţia la capătul bobinei legat la neutrul autotransformatorului : proba cu tensiune indusă - 230 kV , proba cu tensiune aplicată 50 kV , proba cu impuls de tensiune de trăsnet 550 kVV:

- izolaţia la capătul bobinei legat la pământ: proba cu tensiune aplicată 50 kV.

⑧ curentul de rezistenţă la eforturi electrodinamice: 15 kAV.

4. Avantajele aplicării soluţiei propuse pentru prelungirea duratei de funcţionare a autotransformatoarelor de 200/200/60 MVA 231/121/10,5 kV

S-a menţionat în introducere că marea majoritate a autotransformatoarelor de tipul menţionat, dintre cele 90 existente în instalaţiile RENEL, au o vechime de minimum 20 ani de funcţionare.

Pentru creşterea siguranţei lor în funcţionare s-ar putea aplica una din următoarele soluţii:

❶ Înlocuirea fiecăruia din autotransformatoare , în momentul când împlineşte durata de viaţă normată, cu altul nou. Aceasta ar implica cheltuieli de circa 800 000 USD/buc. , deci eforturi financiare şi organizatorice deosebite pentru RENEL.

❷ Aducerea în ateliere specializate, pentru modernizare, a fiecăruia din autotransformatoare în momentul când acesta împlineşte durata de viaţă normată. Aceasta ar implica cheltuieli de circa 500 000 USD/buc. care, ca şi în cazul ❶, implică eforturi financiare şi organizatorice deosebite pentru RENEL.

❸ Menţinerea în exploatare a actualelor autotransformatoare până la consumul total al duratei lor de viaţă , dar luând măsuri de reducere importantă a solicitărilor electrodinamice în înfăşurările acestora, prin montarea bobinelor de legare la pământ a neutrului, conform caracteristicilor menţionate la pct. 3, implică cheltuieli de circa 50 000 USD/buc. , practic fără alte costuri suplimentare pentru aplicarea soluţiei.

Dintre cele trei soluţii menţionate, este evident că soluţia constând în montarea bobinelor de reactanţă (având caracteristicile precizate la pct.3) între neutrul înfăşurărilor autotransformatoarelor de 200/200/60 MVA şi pământ este soluţia cea mai puţin costisitoare şi totodată cea mai uşor de aplicat în vederea creşterii disponibilităţii în exploatare a autotransformatoarelor de tipul menţionat.

Concluzii

Ca urmare a scurtcircuitelor monofazate, în special pe partea de 110 kV (în reţea sau la barele de 110 kV ale staţiei de transformare), s-au produs în mod repetat incidente determinate de defecţiunile survenite la înfăşurarea terţiară a autotransformatoarelor de 200/200/60 MVA 231/121/10,5 kV.

Cauzele acestor defecţiuni pot fi multiple ca, de exemplu : deficienţe de execuţie, slăbirea consolidării mecanice a înfăşurărilor ca urmare a duratei înaintate de funcţionare şi a solicitărilor repetate etc.

Calculul curenţilor de scurtcircuit care trec prin înfăşurarea terţiară a autotransformatoarelor de tipul menţionat a scos în evidenţă faptul că mărimea acestor curenţi este maximă în cazul

scurtcircuitelor monofazate simultane, pe aceeaşi fază, în reţelele de 110 kV şi 220 kV.

Prelungirea duratei de funcţionare şi creşterea disponibilităţii celor 90 autotransformatoare de 200/200/60 MVA din instalaţiile RENEL se poate face optim din punct de vedere tehnico-economic, prin montarea unor bobine de reactanţă de 4,5 Ω, 6 kA între neutrul aferent înfăşurărilor fiecărui autotransformator şi pământ.

ANEXĂ

În circuitele echivalente folosite pentru calculul curenţilor care solicită înfăşurările autotransformatorului la scurtcircuite monofazate s-au folosit următoarele simboluri:

- Z_{SIT} impedanţa sistemului de 220 kV, în %;
- Z_{SJT} impedanţa sistemului de 110 kV, în %;
- Z_1 impedanţa circuitului de înaltă tensiune al autotransformatorului, în %;
- Z_2 impedanţa circuitului de joasă tensiune al autotransformatorului, în %;
- Z_3 impedanţa circuitului aferent înfăşurării terţiare a autotransformatorului, în %;
- Z_{1-2} impedanţa de la circuitul de înaltă tensiune la circuitul de joasă tensiune ale autotransformatorului, în %;
- Z_{1-3} impedanţa de la circuitul de înaltă tensiune la circuitul aferent înfăşurării terţiare a autotransformatorului, în %;
- Z_{2-3} impedanţa de la circuitul de joasă tensiune la circuitul aferent înfăşurării terţiare al autotransformatorului în %;
- Z_{h1} impedanţa de secvenţă homopolară a circuitului de înaltă tensiune al autotransformatorului, în %;
- Z_{h2} impedanţa de secvenţă homopolară, a circuitului de joasă tensiune al autotransformatorului, în %;
- Z_{h3} impedanţa de secvenţă homopolară a circuitului aferent înfăşurării terţiare a autotransformatorului, în %;
- Z_{hN} impedanţa de secvenţă homopolară a circuitului neutrului incluzând şi înfăşurarea terţiară în triunghi dintr-un autotransformator, în %;
- I_n curentul nominal raportat la aceeaşi putere nominală ca şi impedanţele;
- I_d curentul de secvenţă directă exprimat în procente din curentul nominal I_n;
- I_i curentul de secvenţă inversă exprimat în procente din curentul nominal I_n;
- I_h curentul de secvenţă homopolară exprimat în procente din curentul nominal I_n;
- *d* - secvenţa directă;
- *i* - secvenţa inversă;
- *h* - secvenţa homopolară.

BIBLIOGRAFIE

[1] Farry, O.T. *Tertiary windings in autotransformers.* In: AIEE Power Apparatus and Systems, april,1961, p.78 - 85.

[2] Salgues, F. *Contraintes en court-circuit notamment dans le cas des courts-circuits phase-neutre sur l'enroulement median* . CIGRE, 1960, rap. 139.

[3] Powel, C.A. *Electrical transmission and distribution.* Westinghouse Electric Co., East Pittsburgh Pennsylvania, USA, 1964.

[4] Bertula, T. s.a. *Eforts de court-circuit dans les transformateurs á trois noyaux avec enroulement tertiaire en triangle á l'interieur pendant les defauts monophases.* CIGRE, 1980, rap.12.03.

[5] * * * *Interruption of small inductive currents; chapter 5: Switching of unloaded transformers.* Working Group 02 of Study Committee 13 CIGRE Electra, 1989, nr.133,p.79 - 107.

[6] Shenoy, V. *Augumentation de la durée de vie des transformateurs.* CIGRE, 1992, panel 1- 02.

Referent: prof. dr. ing. Theodor Miclescu - Facultatea de Energetică, Universitatea "Politehnica", Bucureşti

(Primit la 9 august 1995, acceptat la 7 iunie 1996)

CALCULUL DE DIMENSIONARE A UNEI INSTALAŢII DE FILTRARE-COMPENSARE ÎN IPOTEZA EGALITĂŢII INDUCTANŢELOR BOBINELOR CIRCUITELOR FILTRANTE

ing. ROMULUS SFICHI *

În lucrare se propune o metodă de calcul ale unei instalaţii de filtrare-compensare (IFC) ce conţine mai multe circuite filtrante, acordate pe frecvenţele canonice ale armonicilor superioare prezente în spectrul curentului pe bare de racordare la care se exploatează consumatori inductivi şi deformanţi.

Se presupune că întreaga putere reactivă necesară îmbunătăţirii factorului de putere se instalează în circuitele filtrante şi se adoptă criteriul egalităţii inductanţelor pe toate aceste circuite (bobine identice). Se stabilesc relaţiile de calcul pentru dimensionarea parametrilor IFC, ca şi relaţiile de verificare la suprasarcină, în regim permanent, a condensatoarelor.

Adoptarea acestui criteriu de calcul şi repartizare a condensatoarelor pe circuitele filtrante prezintă avantajul simplificării construcţiei IFC.

In the paper, a computation method for a filtering compensating installation (FCI) with several filtering circuits is proposed. These circuits are attuned to the canonical frequencies of the higher harmonics existing in the current spectrum on the connecting bus to which inductive anel distorting consumers are connected.*

It is assumed that the entire reactive power necessary to improve the power factor is installed in the filtering circuits and the equality criterion of all the circuits inductances (indentical coils) is adopted. The computation relations for the FCI parameters dimensioning, as well as the overload control relations for the condensers under steady state operating conditions are established.

The usage of this computation criterion for the condensers distribution in the filtering circuits has the advantage of simplifying the FCI design.

Descriptori: instalaţii de filtrare-compensare, calcul, dimensionare

Introducere

Este cunoscut faptul că la proiectarea filtrelor de absorbţie există astăzi două puncte de vedere în legătură cu rolul acestora în problema compensării puterii reactive. Astfel, unele filtre de absorbţie pot fi utilizate exclusiv în scopul eliminării armonicelor superioare, iar altele şi pentru compensarea puterii reactive.

În prezent, în legătură cu introducerea pe o scară din ce în ce mai largă a convertoarelor de putere, se adoptă, în majoritatea cazurilor, cel de-al doilea punct de vedere.

Ca urmare, o instalaţie de filtrare a armonicilor trebuie să îndeplinească două funcţiuni principale: filtrarea armonicilor superioare şi compensarea puterii reactive la frecvenţa fundamentală. O astfel de instalaţie este denumită, curent, de filtrare-compensare (IFC).

Puterea reactivă a IFC se determină din condiţiile de creştere a factorului de putere, în regim sinusoidal, de la valoarea celui natural la cel îmbunătăţit, de regulă cel neutral (0,92), potrivit reglementărilor din România [1]. Aşadar, puterea bateriilor de condensatoare la frecvenţa fundamentală, apare ca impusă. Puterea reactivă necesară urmează a fi distribuită între bateriile de condensatoare ale circuitelor filtrante acordate, de regulă, pe frecvenţele armonicilor de ranguri k = 5, 7, 11, 13, ..., astfel încât să se asigure şi filtrarea armonicilor respective, pentru a se obţine un coeficient de distorsiune a tensiunii sub valorile limită impuse de normative [2] .

Pentru realizarea acestor obiective, în literatură [3, 4, 5], se propun două variante: IFC conţine exclusiv scheme de filtrare a armonicilor şi, respectiv, IFC conţine, în afara schemei de filtrare, şi baterii de condensatoare conectate direct la reţea.

* FRE Suceava

Cea de-a doua variantă asigură proprietăţi superioare de filtrare, deoarece prezenţa condensatoarelor conectate direct la reţea, permite obţinerea unei benzi de tăiere şi pentru armonicile de curent nefiltrate de circuitele rezonante.

În acelaşi timp, ultima soluţie poate prezenta dezavantajul apariţiei unor rezonanţe de curent pe armonicile nefiltrate în circuitele constituite din aceste condensatoare şi reactanţa inductivă echivalentă a reţelei. Circuitele de filtrare trebuie să asigure valoarea normală a coeficientului de distorsiune a tensiunii [2] , care este dependent de o serie de factori, printre care: puterea convertizoarelor, numărul lor de pulsuri şi puterea reactivă a schemei de filtrare etc. În funcţie de ponderea acestor factori se stabileşte oportunitatea folosirii uneia sau alteia dintre variante. Proiectarea efectivă a filtrelor de absorbţie, care constă în determinarea parametrilor optimi ai acestora, implică utilizarea anumitor criterii tehnico-economice: puterea minimă a bateriilor de condensatoare, puterea aparentă minimă a bobinelor de reactanţă, preţul de cost minim al utilajului (bobine şi condensatoare) etc.

Aplicarea acestor criterii dovedeşte, în general, că varianta cea mai bună este aceea în care întreaga putere reactivă, necesară îmbunătăţirii factorului de putere, trebuie repartizată pe circuitele rezonante ale bateriei de filtre. În acest context, în cele ce urmează se va aborda o metodă de dimensionare a parametrilor circuitelor rezonante din componenţa bateriilor de filtre în ipoteza care presupune egalitatea inductanţelor bobinelor (bobine identice).

Acest criteriu are o importantă motivaţie de ordin practic: simplificarea construcţiei bateriilor de filtre. Toate consideraţiile ce urmează se referă la o singură fază a IFC.

1. Calculul parametrilor IFC

Impunându-se puterea reactivă Q necesară îmbunătăţirii factorului de putere la frecvenţa fundamentală, aceasta va trebui repartizată pe circuitele filtrante ale bateriei de filtre (fig.1).

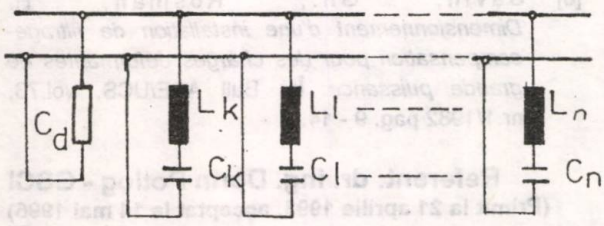


Fig.1.

Deci:

$$\sum_k Q_k = Q, \quad k = 5,7,11,13,..... \tag{1}$$

în care Q_k reprezintă puterea reactivă disponibilă a circuitului filtrant acordat pe frecvenţa curentului armonic de rang k.

Prin urmare,

$$k^2\omega_1^2 L_k C_k = 1, \quad L_k = L = \text{const.}, \quad k = 5,7,11,13,..... \tag{2}$$

Relaţia (2) exprimă acordul la rezonanţă a circuitului filtrant considerat. Cunoscând tensiunea U_1 pe barele de alimentare şi $\omega_1 = 2\pi f_1 = 100\,\pi$ rad/s, puterea disponibilă la bornele circuitului filtrant considerat (pentru compensarea puterii reactive la frecvenţa fundamentală f_1 = 50 Hz) este:

$$Q_k = a_k \omega_1 C_k U_1^2; \quad a_k = \frac{k^2}{k^2 - 1} \tag{3}$$

Rezolvând sistemul de ecuaţii format de (1), (2) şi (3) în raport cu Q_k, C_k şi $L = L_k$, se obţin soluţiile:

$$Q_k = \frac{a_k}{k^2 \sum_k \frac{a_k}{k^2}} Q \tag{4}$$

$$C_k = \frac{Q}{k^2 \omega_1 U_1^2 \sum_k \frac{a_k}{k^2}} \tag{5}$$

$$L = \frac{U_1^2}{\omega_1 Q} \sum_k \frac{a_k}{k^2} \tag{6}$$

Ţinând seama de creşterea tensiunii fundamentale la bornele bateriei de condensatoare $U_{Ck} = a_k U_1$, precum şi de supraîncărcarea acesteia, cauzată de curentul armonic I_k, puterea reactivă a bateriei va fi:

$$Q_{Ck} = a_k Q_k + Q'_k, \tag{7}$$

în care:

$$Q'_k = \frac{I_k}{k\omega_1 C_k} \tag{8}$$

Substituind (5) în (8), iar rezultatul obţinut, împreună cu (4), în (7), se obţine:

$$Q_{Ck} = \frac{a_k^2}{k^2 \sum_k \frac{a_k}{k^2}} Q + k \frac{U_1^2 I_k^2}{Q} \sum_k \frac{a_k}{k^2} \tag{9}$$

Dacă alături de circuitul filtrant acordat pe frecvenţa kf_1, se află un al doilea circuit filtrant acordat pe frecvenţa lf_1, prin aplicarea relaţiilor (4) şi (5), se obţine:

$$Q_l = \frac{a_l}{l^2 \sum_k \frac{a_k}{k^2}} Q; \quad a_l = \frac{l^2}{l^2 - 1} \tag{10}$$

$$C_l = \frac{Q}{l^2 \omega_1^2 U_1^2 \sum_k \frac{a_k}{k^2}} \tag{11}$$

Făcând rapoartele între (4) şi (10), respectiv între (5) şi (11), se obţin:

$$\frac{Q_k}{Q_l} = \frac{a_k}{a_l}\left(\frac{l}{k}\right)^2; \quad \frac{C_k}{C_l} = \left(\frac{l}{k}\right)^2. \tag{12}$$

Dacă vom admite aproximaţia satisfăcătoare $a_k \approx a_l$, relaţiile (12) se pot retranscrie sub forma:

$$\frac{Q_k}{Q_l} = \frac{C_k}{C_l} = \left(\frac{l}{k}\right)^2. \tag{13}$$

Relaţia (13) se poate considera drept un circuit de repartiţie a condensatoarelor pe circuitele filtrante în condiţiile (1) şi (2).

2. Verificarea suprasarcinii în regim de durată a bateriilor de condensatoare din circuitele filtrante ale IFC

Normele româneşti (STAS 7083-71) şi internaţionale (publicaţia CEI - 70/1967) limitează suprasarcina condensatoarelor în regim permanent la valorile:

$$U_{Ck} \leq 1{,}1\, U_N, \quad I_{Ck} \leq 1{,}3\, I_N, \quad Q_{Ck} \leq 1{,}43\, Q_N, \tag{14}$$

în care U_{Ck}, I_{Ck} şi Q_{Ck} sunt valorile tensiunii, ale curentului şi puterii bateriei de condensatoare, iar U_N, I_N şi Q_N sunt valorile nominale ale aceloraşi mărimi.

Puterea U_{Ck} este dată de (9), iar U_{Ck} şi I_{Ck} au valorile:

$$U_{Ck} = \sqrt{a_k^2 U_1^2 + \frac{I_k^2}{k^2 \omega_1^2 C_k^2}}, \quad I_{Ck} = \sqrt{a_k^2 \omega_1^2 C_k^2 U_1^2 + I_k^2} \tag{15}$$

Ţinând seama de (5), relaţiile (15) se retranscriu sub formele :

$$\left.\begin{aligned} U_{Ck} &= U_1 \sqrt{a_k^2 + \left(k \frac{U_1 I_k}{Q}\right)^2 \left(\sum_k \frac{a_k}{k^2}\right)^2} \\ I_{Ck} &= I_k \sqrt{1 + \left(\frac{a_k Q}{k^2 U_1 I_k \sum_k \frac{a_k}{k^2}}\right)} \end{aligned}\right\} \tag{16}$$

Utilizând (9) şi (16) se verifică (14) şi în cazul în care restricţiile respective nu sunt îndeplinite se reia calculul pentru o nouă structură a bateriei de condensatoare.

În final se face o verificare a posibilităţilor de rezonanţă a bateriei de filtre astfel calculate cu reţeaua de alimentare a sistemului electroenergetic [6].

Concluzii

În articol se propune o metodă de calcul al unei instalaţii de filtrare-compensare (IFC) pe criteriul egalităţii inductanţelor circuitelor filtrante, care prezintă avantajul simplificării construcţiei acestei instalaţii.

Relaţiile de calcul stabilite au în vedere repartizarea întregii puteri reactive, necesare îmbunătăţirii factorului de putere, pe circuitele filtrante.

Metoda de calcul propusă este simplă şi operativă şi poate fi folosită la proiectarea instalaţiilor de filtrare-compensare conectate pe barele la care se exploatează consumatorii inductivi şi deformanţi.

BIBLIOGRAFIE

[1] * * * *Notă privind negocierea tarifelor pentru energia electrică şi termică livrată consumatorilor de către RENEL*, 1738/91.

[2] * * * PE 143/80. *Normativ privind limitarea regimului deformant*, ICEMENERG, Bucureşti, 1980.

[3] Bălă, C.V. *Dimensionarea filtrelor rezonante pentru receptoarele de putere inductive şi deformante*. În: Electrotehnica, nr.6, 1964, pag. 205 - 213.

[4] Rosman, H., Savin, Gh. *Méthode optimale de calcul d'une installation de filtrage-compensation*. În: Buletinul Inst. Politehnic Iaşi, tom. 33(37), fasc. 1-4, secţia III pag. 89-96 (1987)

[5] Arie, E., Nicolae, P., Cristea, H. *Compensarea regimului deformant la instalaţii de redresare echipate cu baterii de condensatoare*. În: Studii şi cercetări de energetică (seria A), nr.2/1963

[6] Savin, Gh., Rosman, H. *Dimensionnement d'une installation de filtrage-compensation pour des charges déformantes de grande puissance*. În: Bull ASE/UCS, vol.73, nr.1/1982 pag. 9 - 14.

Referent: dr. ing. Dorin Potlog - GSCI

(Primit la 21 aprilie 1993, acceptat la 14 mai 1996)

□

SOLICITAREA ELECTRICĂ A CONDENSATOARELOR

prof. dr. ing. PAUL SVASTA; ş.l. dr. ing. VIRGIL GOLUMBEANU ; prep. ing. DANIEL LEONESCU *

Unul din procedeele ce protejează echipamentele electronice, asigurând cerinţele cerute în cadrul compatibilităţii electromagnetice este utilizarea filtrelor. Indiferent că sunt destinate filtrărilor de reţea sau liniilor de semnal, filtrele au incluse condensatoare. Destinate să funcţioneze în benzi diferite de frecvenţă este necesar să se cunoască limitările impuse condensatoarelor.

În lucrare se determină valorile maxim admise ale tensiunii, curentului şi puterii active la care poate fi solicitat un condensator în timpul funcţionării, în funcţie de: tensiunea nominală, curentul nominal, puterea nominală, frecvenţa semnalului, temperatura maximă la care poate fi utilizat condensatorul, temperatura maximă a mediului ambiant, tangenta unghiului de pierderi.

Utilization of filters represents one of the methods that protect electronic equipment, providing respecting of electromagnetic compatibility rules. Indifferent of application where are used, filters include capacitors. Because of variation of frequency band in different applications, it is very important to know the limitations imposed to capacitors.

The paper describes the algorithm to determine maximum accepted values for voltage, current and power dissipation that could be applied on a capacitor, depending on: rated voltage, rated current, rated power dissipation, frequency range, maximum case temperature, maximum ambient temperature, loss factor.

Descriptori: condensatoare, solicitări electrice

Introducere

În numeroase circuite electrice destinate asigurării cerinţelor de compatibilitate electromagnetică este necesară utilizarea unor condensatoare ce funcţionează la valori relativ ridicate ale tensiunii şi curentului, deci la o putere electrică ridicată. Pentru orice condensator care este solicitat la o putere electrică, o parte din aceasta se disipă sub formă de căldură, ceea ce are ca efect creşterea temperaturii condensatorului, fiind posibilă depăşirea temperaturii maxime de utilizare şi defectarea lui. În general, în circuitele electrice s-a constatat că un mare număr de defecte (40 - 50 %) sunt datorate solicitării termice; de aceea se impune o proiectare termică a condensatoarelor şi în special pentru condensatoarele de putere.

În literatură, analiza termică a condensatoarelor este puţin tratată, producătorii prezentând câteva date referitoare la acest aspect, neexistând o metodologie clară şi completă care să aibă în vedere multitudinea factorilor ce intervin: forma semnalului şi paramerii lui, temperatura mediului ambiant, parametrii condensatorului. Lucrarea prezintă solicitarea electrică maximă a condensatoarelor, adică determinarea valorilor maxime admisibile ale tensiunii şi curentului la care poate fi solicitat un condensator în funcţie de diverşi factori care intervin.

1. Parametrii condensatoarelor

În cadrul lucrării se vor utiliza următorii parametrii ai condensatoarelor, notaţi şi definiţi astfel:

- C_N - capacitatea nominală, reprezentând capacitatea inscripţionată pe corpul condensatorului;
- U_N - tensiunea nominală, fiind definită ca valoarea maximă efectivă a tensiunii sinusoidale de o anumită frecvenţă ce poate fi aplicată la bornele condensatorului la o funcţionare îndelungată;
- I_N - curentul nominal, reprezentând valoarea maximă efectivă a curentului sinusoidal ce poate trece prin condensator la o funcţionare îndelungată;
- T_M - temperatura maximă, fiind temperatura la care poate să ajungă corpul

* Facultatea de Electronică, Universitatea "Politehnica", Bucureşti

condensatorului în timpul unei funcţionări îndelungate;

- T_N - temperatura nominală, reprezentând temperatura maximă a mediului ambiant în care condensatorul poate disipa puterea maximă egală cu puterea nominală;
- D - coeficientul de disipare termică, fiind puterea evacuată de condensator către mediul ambiant la modificarea temperaturii corpului său cu un grad Celsius;
- P_N - puterea nominală, reprezentând puterea maximă pe care poate să o disipe un condensator ce funcţionează în regim staţionar, într-un mediu ambiant cu temperatura egală cu cea nominală; se poate determina cu relaţia:

$$P_N = D(T_M - T_N); \quad (1)$$

- tgδ - tangenta unghiului de pierderi, fiind egală cu raportul dintre puterea activă (puterea disipată de condensator) şi puterea reactivă; exprimă pierderile totale de putere ce au loc în condensator şi defazajul între tensiune-curent datorat acestui aspect;
- R_s - rezistenţa electrică serie a condensatorului, fiind egală cu rezistenţa electrică a celor două terminale, a zonelor de contactare terminal-armătură şi a armăturilor;
- tgδ0 - tangenta unghiului de pierderi în dielectric, exprimând pierderile de putere ce au loc în dielectric, în general prin conducţie şi polarizare.

2. Solicitarea electrică maximă a condensatoarelor

Se consideră un condensator caracterizat de parametrii nominali: U_N, I_N, P_N, T_N, C_N. Pentru o corectă funcţionare a unui condensator într-un circuit electric trebuie ca mărimile electrice la care este solicitat să nu depăşească valorile nominale.

Se va considera că regimul electric de funcţionare al condensatorului este sinusoidal şi că funcţionează într-un mediu ambiant cu temperatura T_a cuprinsă în intervalul $[T_{am}, T_{aM}]$. Se notează cu U_A tensiunea efectivă maximă admisă, cu I_A curentul efectiv maxim admis şi cu P_A puterea disipată maximă admisă.

Având în vedere că temperatura mediului ambiant este variabilă, rezultă că puterea maximă P_M pe care poate să o disipe condensatorul în aceste condiţii, astfel încât să nu se depăşească temperatura maximă a condensatorului, este,

$$P_M = D(T_M - T_{aM}) = P_N \cdot \frac{T_M - T_{aM}}{T_M - T_N} \quad (2)$$

Ţinând cont de relaţiile existente între tensiune, curent şi putere: $I = \omega CU$, $U = I/\omega C$, $P = U I \operatorname{tg}\delta$, rezultă că:

- la frecvenţe joase, tensiunea de la bornele condensatorului poate depăşi valoarea nominală U_N.
- la frecvenţe medii puterea dispată de condensator poate depăşi puterea maximă P_M ;
- la frecvenţe înalte curentul prin condensator poate depăşi valoarea maximă I_N .

Pot exista deci două frecvenţe critice, f_1 şi f_2 ce delimitează cele trei domenii de frecvenţă, pentru care trebuie limitate valorile tensiunii, curentului şi puterii, la valorile nominale. Frecvenţa critică f_1 reprezintă frecvenţa pentru care condensatorul poate fi solicitat simultan, la tensiunea nominală U_N şi puterea maximă disipată P_M, rezultând deci :

$$P = U I \operatorname{tg}\delta = U I (\operatorname{tg}\delta_0 + \omega R_s C) = \omega C U^2 (\operatorname{tg}\delta_0 + \omega R_s C) \quad (3)$$

$$P_M = 2\pi f_1 C_N U_N^2 \operatorname{tg}\delta_0 + 4\pi^2 f_1^2 C_N^2 U_N^2 R_S \quad (4)$$

$$f_1 = \frac{\sqrt{U_N^2 \operatorname{tg}^2 \delta_0 + 4 P_M R_S} - U_N \operatorname{tg}\delta_0}{4\pi C_N U_N R_S} \quad (5)$$

Frecvenţa critică f_2 reprezintă frecvenţa la care condensatorul poate fi solicitat simultan la curentul nominal I_N şi puterea maximă P_M, rezultând,

$$P = \frac{I^2}{\omega C} \operatorname{tg}\delta_0 + I^2 R_S \quad (6)$$

$$P_M = \frac{I_N^2 \operatorname{tg}\delta_0}{2\pi f_2 C} + I_N^2 R_S \quad (7)$$

$$f_2 = \frac{I_N^2 \operatorname{tg}\delta_0}{2\pi C (P_M - I_N^2 R_S)} \quad (8)$$

Pot exista două cazuri:

Cazul I, $f_1 \geq f_2$

În acest caz, în timpul funcţionării condensatorului, limitând valorile maxim admise ale tensiunii la bornele condensatorului şi ale curentului la valorile nominale (U_N, I_N), nu există posibilitatea depăşirii puterii maxime P_M. Există deci o singură frecvenţă critică f_{cr} ce delimitează cele două intervale de frecvenţă. Această frecvenţă corespunde situaţiei când condensatorul este solicitat simultan la tensiunea nominală U_N şi curentul nominal I_N

$$I_N = \omega_{cr} C_N U_N \quad (9)$$

De unde rezultă că:

$$f_{cr} = \frac{I_N}{2\pi C_N U_N} \quad (10)$$

Pe cele două intervale de frecvenţă valorile maxim admise ale tensiunii, curentului şi puterii active vor fi:

a) pentru $f \le f_{cr}$,

$$U_A = U_N,\ I_A = \omega C_N U_N \tag{11}$$

$$P_A = \omega C_N U^2{}_N (\mathrm{tg}\delta_0 + \omega R_S C_N) \tag{12}$$

b) pentru $f \ge f_{cr}$,

$$I_A = I_N,\ U_A = \frac{I_N}{\omega C_N} \tag{13}$$

$$P_A = \frac{I_N^2 \,\mathrm{tg}\,\delta_0}{\omega C_N} + I_N^2 R_S \tag{14}$$

Cazul II, $f_1 < f_2$

În acest caz în timpul funcţionării condensatorului există şi posibilitatea depăşirii puterii disipate P_M, existând două frecvenţe critice, f_1, f_2, ce se determină cu relaţiile (5) şi (8).

Pe cele trei intervale valorile maxim admise ale tensiunii, curentului, şi puterii active vor fi:

a) Pentru $f \le f_1$

$$U_A = U_N \tag{15}$$

$$I_A = \omega C U_N \tag{16}$$

$$P_A = \omega C U_N^2 (\mathrm{tg}\delta_0 + \omega R_S C) = \frac{I_A^2 \mathrm{tg}\delta_0}{\omega C} + R_S I_A^2 \tag{17}$$

b) Pentru $f_1 \le f \le f_2$

$$P_A = P_M \tag{18}$$

$$U_A = \sqrt{\frac{P_M}{\omega C(\mathrm{tg}\delta_0 + \omega R_S C)}} \tag{19}$$

$$I_A = \sqrt{\frac{\omega C P_M}{\mathrm{tg}\,\delta_0 + \omega R_S C}} \tag{20}$$

c) Pentru $f \ge f_2$

$$I_A = I_N \tag{21}$$

$$U_A = \frac{I_N}{\omega C} \tag{22}$$

$$P_A = \frac{I_N^2}{\omega C}(\mathrm{tg}\,\delta_0 + \omega R_S C) \tag{23}$$

Având în vedere analiza realizată se pot face următoarele observaţii utile în proiectarea electrică:

- Cunoscând parametrii condensatorului se pot determina valorile maxime admise ale tensiunii, curentului, puterii active la care poate fi solicitat în funcţie de frecvenţă, capacitate şi temperatura mediului ambiant.
- Aplicând la bornele condensatorului o anumită tensiune constantă $U_0 < U_N$ el poate fi utilizat în banda de frecvenţă:

$$f \le \min\left\{\frac{I_N}{2\pi C U_0};\ \frac{\sqrt{U_0^2 \,\mathrm{tg}\,\delta_0 + 4P_M R_S} - U_0 \,\mathrm{tg}\,\delta_0}{4\pi C U_0 R_S}\right\} \tag{24}$$

- Aplicând prin condensator un curent constant $I_0 < I_N$ el poate fi utilizat în banda de frecvenţă:

$$f \ge \max\left\{\frac{I_0}{2\pi C U_N};\ \frac{I_0^2 \,\mathrm{tg}\,\delta_0}{2\pi C(P_M - R_S I_0^2)}\right\} \tag{25}$$

- Unui condensator ce este utilizat într-o bandă de frecvenţă $f \in [f_m, f_M]$, i se poate aplica la borne o tensiune constantă de valoare maximă egală cu tensiunea maxim admisă la frecvenţa f_M.
- Un condensator ce este utilizat în banda de frecvenţă $f \in [f_m, f_M]$ poate fi străbătut de un curent constant de valoare maximă egală cu valoarea curentului maxim admis la frecvenţa f_m.
- Pentru condensatoarele de putere de capacitate mare, frecvenţa critică f_1 poate avea valori relativ mici (ordinul Hz), rezultând că nu pot fi utilizate la tensiunea nominală la frecvenţa de 50 Hz, frecvenţa uzuală.
- În relaţiile prezentate s-a neglijat variaţia cu temperatura a rezistenţei serie R_S. Pentru a înlătura această eroare, se poate considera că temperatura condensatorului este T_M şi în calcule se va considera R_S',

$$R_S' = R_S[1 + \alpha(T_M - T_O)] \tag{26}$$

$$T_O = 20^0\mathrm{C},\ \alpha = 4 \cdot 10^{-3}/^0\mathrm{C} \tag{27}$$

Exemplul 1:

Fie un condensator având următoarele caracteristici [1] :

- $C_N = 2200\ \mu\mathrm{F}$;
- $P_M = 80\mathrm{W}$ la 30°C şi 50W la 60°C conform curbei de disipaţie termică;
- $U_N = 1000\ \mathrm{V}$;
- $I_N = 80\ \mathrm{A}$;
- $R_S = 1{,}9\ \mathrm{m}\Omega$;
- $\mathrm{tg}\,\delta_0 = 0{,}005$.

Va rezulta: $f_1 = 1{,}15$ Hz , $f_2 = 34{,}12$ Hz la 30°C

$f_1 = 0{,}72$ Hz , $f_2 = 61{,}18$ Hz la 60°C

Figura 1 prezintă curbele de variaţie a tensiunii la bornele condensatorului în condiţii extreme de funcţionare, la 30°C . Se observă că la frecvenţe joase limitarea este dată de tensiunea maximă admisibilă pe condensator ($f < f_1$). La creşterea frecvenţei, se intră într-o zonă ($f_1 < f < f_2$) în care puterea maximă devine

factor limitator al tesiunii maxime ce se poate aplica pe condensator, iar la frecvenţe mari ($f > f_2$) limitarea va fi dată de curentul maxim admisibil. Curba de limitare rezultată este reprezentată în figura 2 (minimul global al curbelor din figura 1). Acelaşi lucru se poate observa pe figurile 3, respectiv 4, unde sunt reprezentate aceleaşi curbe ca în figurile 1, respectiv 2, dar la temperatura de 60°C .

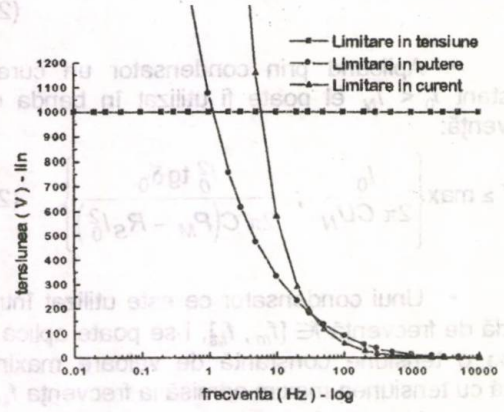


Fig. 1.

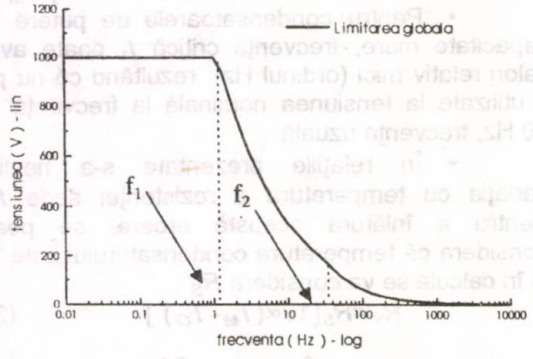


Fig. 2.

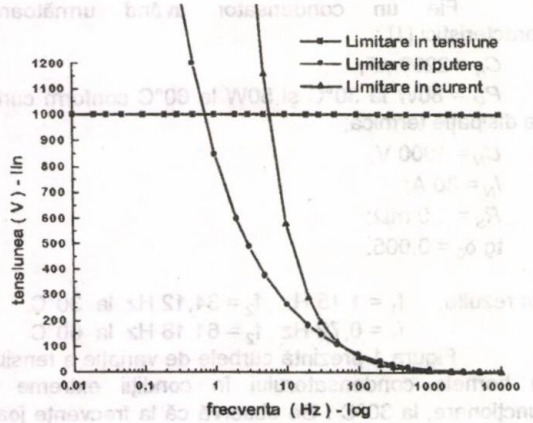


Fig. 3.

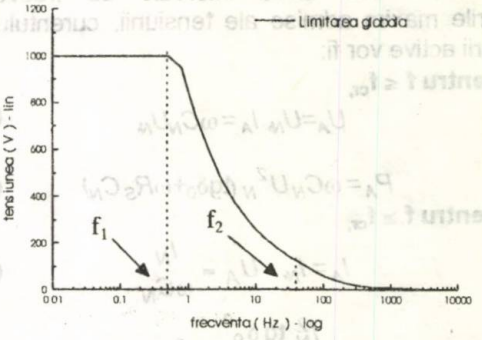


Fig. 4

Figura 5 prezintă curbele de variaţie a curentului prin condensator în condiţii extreme de funcţionare, la 30°C. Se observă că la frecvenţe joase limitarea este dată de tensiunea maximă admisibilă pe condensator ($f < f_1$). La creşterea frecvenţei, se intră într-o zonă ($f_1 < f < f_2$) în care puterea maximă devine factor limitator al curentului maxim ce poate trece prin condensator, iar la frecvenţe mari ($f > f_2$) limitarea va fi dată de curentul maxim admisibil. Curba de limitare rezultată este reprezentată în figura 6 (minimul global al curbelor din figura 5). Acelaşi lucru se poate observa pe figurile 7 şi 8, unde sunt reprezentate aceleaşi curbe ca în figurile 5 şi 6, dar la temperatura de 60°C.

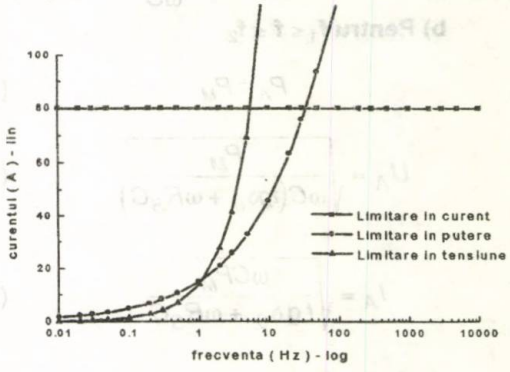


Fig. 5.

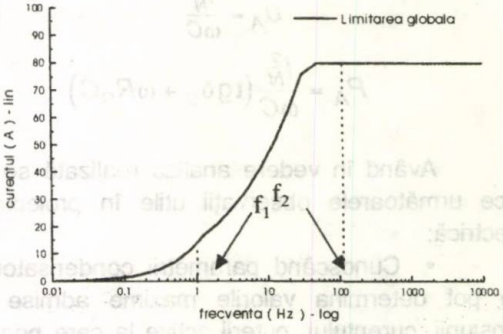


Fig. 6.

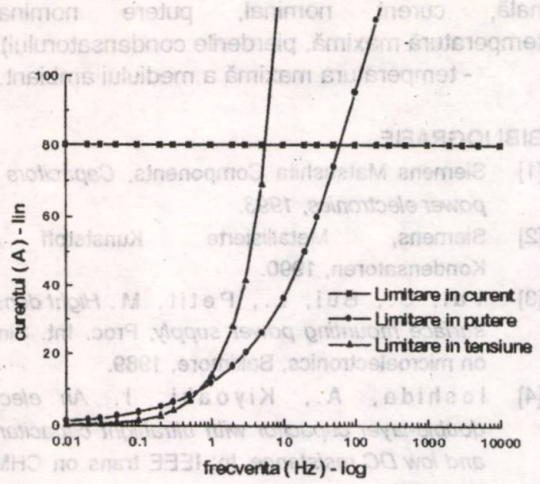


Fig. 7.

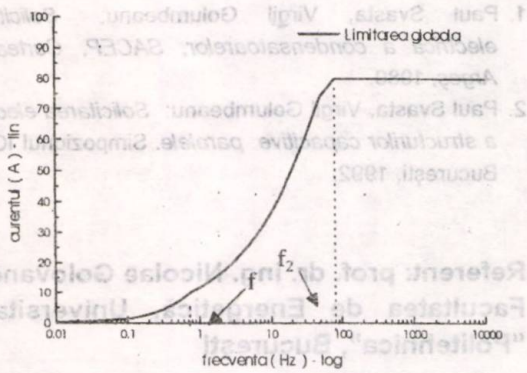


Fig. 8.

Exemplul 2:

Aşa cum s-a arătat, se poate întâmpla ca frecvenţa f_1 să fie mai mare decât frecvenţa f_2. Să considerăm un condensator având parametrii:

- C_N = 2200 μF;
- P_M = 400W la 20°C;
- U_N = 1000 V;
- I_N = 50 A;
- R_S = 1,9 mΩ;
- tg δ_0 = 0,005.

Va rezulta: f_1 = 5,62 Hz , f_2 = 2,29 Hz

În figura 9 sunt reprezentate curbele de variaţie a tensiunii la bornele condensatorului în condiţii extreme de funcţionare. Se observă că la frecvenţe joase limitarea este dată de tensiunea maximă admisibilă pe condensator, iar la frecvenţe mari limitarea este dată de curentul admisibil, fără a se mai trece printr-o zonă în care factorul limitativ este puterea disipată. Curba de limitare globală rezultată este reprezentată în figura 10.

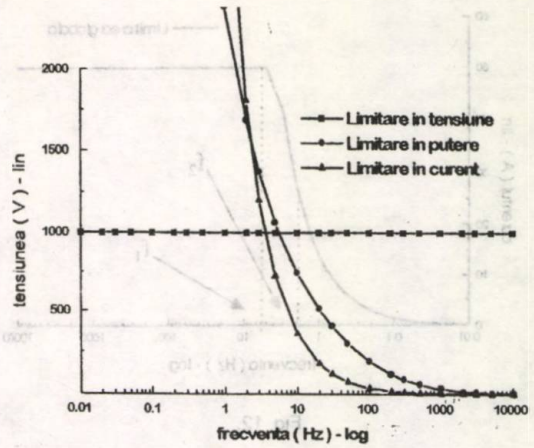


Fig. 9.

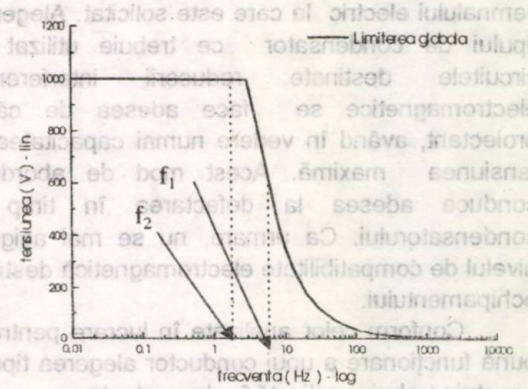


Fig. 10.

Figura 11 se referă la variaţia curentului prin condensator în condiţii extreme de funcţionare. Se observă şi în acest caz faptul că la frecvenţe joase limitarea este dată de tensiunea maximă admisibilă pe condensator, iar la frecvenţe mari limitarea va fi dată de curentul maxim admisibil. Curba de limitare rezultată este reprezentată în figura 12.

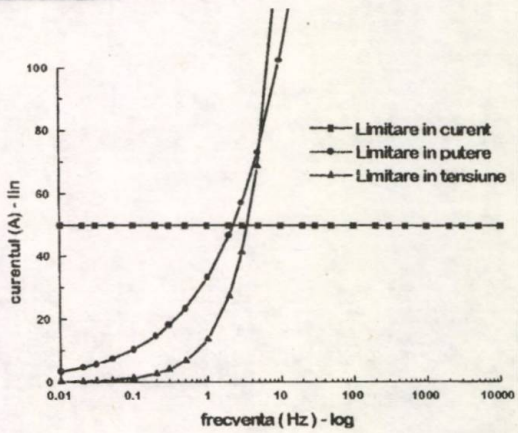


Fig. 11.

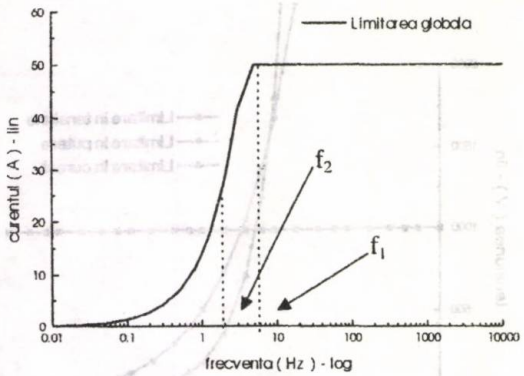


Fig. 12.

Concluzii

Din proiectarea electrică a circuitelor rezultă valoarea capacităţii condensatorului şi parametrii semnalului electric la care este solicitat. Alegerea tipului de condensator ce trebuie utilizat în circuitele destinate reducerii interferenţei electromagnetice se face adesea de către proiectant, având în vedere numai capacitatea şi tensiunea maximă. Acest mod de abordare conduce adesea la defectarea în timp a condensatorului. Ca urmare, nu se mai asigură nivelul de compatibilitate electromagnetică destinat echipamentului.

Conform celor analizate în lucrare pentru o bună funcţionare a unui conductor alegerea tipului acestuia trebuie realizată în dependenţă cu:

- parametrii semnalului electric la care este solicitat (tensiune, curent, putere activă, frecvenţă);
- parametrii condensatorului (tensiune nominală, curent nominal, putere nominală, temperatură maximă, pierderile condensatorului);
- temperatura maximă a mediului ambiant.

BIBLIOGRAFIE

[1] Siemens Matsushita Components, *Capacitors for power electronics, 1993.*

[2] Siemens, Metallisierte Kunststoff - Kondensatoren, 1990.

[3] Val, C., Bui, L., Petit, M. *Hight density surface mounting power supply,* Proc. Int. Simp. on microelectronics, Baltimore, 1989.

[4] Ioshida, A., Kiyoaki, I. *An electric double-layer capacitor with ultrahight capacitance and low DC resistance.* In: IEEE trans on CHMT, feb.,1992.

La elaborarea prezentului articol au fost folosite şi lucrări prezentate la diferite manifestări tehnico-ştiinţifice şi nepublicate:

1. Paul Svasta, Virgil Golumbeanu: *Solicitarea electrică a condensatoarelor, SACEP, Curtea de Argeş,* 1980.
2. Paul Svasta, Virgil Golumbeanu: *Solicitarea electrică a structurilor capacitive paralele.* Simpozionul ICDA, Bucureşti, 1992.

Referent: prof. dr. ing. Nicolae Golovanov - Facultatea de Energetică, Universitatea "Politehnica", Bucureşti

(Primit la 21 decembrie 1995, acceptat la 7 iunie 1996)

UNELE ASPECTE ALE MANAGEMENTULUI REŢELELOR ELECTRICE DE DISTRIBUŢIE CU AJUTORUL GESTIUNII GRAFICE

ing. IOAN ANDREICA *, prof. dr. ing. LAUREAN PREDA **
as. ing. DANIELA POPESCU **

În lucrare se analizează unele posibilităţi de conducere şi administrare a reţelelor electrice de distribuţie, folosind tehnicile actuale de calcul.

In the paper, some managing posibilities for distribution electrical network, using computer technics.

Descriptori: reţele electroenergetice de distribuţie, management

Introducere

Lucrarea prezintă câteva aspecte ale managementului reţelelor electrice de distribuţie, folosind unele metode moderne în contextul dezvoltării economice şi sociale a localităţilor României, pe baza strategiei de dezvoltare a Regiei Naţionale de Electricitate - RENEL.

În prezent aceste probleme sunt în atenţia multor instituţii, începând de la cele guvernamentale până la cele mai mici unităţi care vin în contact cu acest gen de activitate, însă de cele mai multe ori abordarea nu se face global, pentru a asigura un bun management asupra reţelelor electrice de distribuţie.

În România s-a început prin studiul managerial al reţelelor de înaltă şi foarte înaltă tensiune, studiul managerial al reţelelor electrice de distribuţie de 20 kV facându-se doar prin unele aspecte cu caracter pur tehnic.

În ultimii doi ani, au crescut preocupările în ceea ce priveşte managementul reţelelor de distribuţie de 20 kV şi 0,4 kV şi aceasta graţie tehnicii de calcul moderne cu care au fost dotate în mare măsură unităţile RENEL, între care şi F.R.E. Bistriţa; pe de altă parte, în România s-au dezvoltat foarte mult resursele umane bine pregătite în domeniul informaticii.

Realizările în acest domeniu au fost foarte rapide în intervalul de timp parcurs până acum, ce este foarte scurt.

În lucrare se prezintă unele aspecte ale managementului reţelelor electrice de distribuţie, care în ţara noastră nu au fost încă suficient aprofundate, precum şi unele realizări de mare importanţă pentru managementul general al reţelelor electrice de distribuţie.

* F.R.E. Bistriţa
** Universitatea Tehnică "Gh. Asachi" Iaşi

1. Unele aspecte generale ale managementului reţelelor electrice de distribuţie, cu referire la F.R.E. Bistriţa

Începând din anul 1992 F.R.E. Bistriţa, împreună cu Primăria Municipiului Bistriţa, Direcţia Telecom, RATC Bistriţa, şi cu EHG Cluj şi Universitatea Tehnică "Gh. Asachi" Iaşi au elaborat unele lucrări de gestiune şi grafică ale reţelelor din municipiul Bistriţa, în scopul creşterii treptate a calităţii deciziilor în domeniul reţelelor şi implicit dezvoltarea unei strategii de gestionare a întregului oraş de către toţi factorii implicaţi.

Noutatea din această lucrare, faţă de alte lucrări de gestiune, constă în faptul că ea abordează, pe de o parte, cazuistica generală RENEL, care îşi desfăşoară activitatea ţinând cont de impactul cu mediul înconjurător, şi, pe de altă parte, colectează informaţii din mai multe aplicaţii (în perimetrul F.R.E. Bistriţa), oferind, deci, posibilitatea administrării reţelelor electrice, ţinând seama de toate celelalte feluri de instalaţii (apă, canal, telecomunicaţii, termoficare etc.).

a) Legăturile F.R.E. Bistriţa cu ceilalţi factori locali, condiţie obligatorie în vederea convieţuirii mai multor parteneri într-o localitate prin:

- ţinerea la zi a cadastrului localităţii şi valorificarea acestuia de către toţi factorii; harta cadastrală devine suportul de bază pe care se proiectează, se execută şi se exploatează toate felurile de reţele;
- eliberarea de avize edilitare tuturor instituţiilor abilitate, agenţilor economici şi persoanelor fizice pentru toate categoriile de lucrări;
- coordonarea lucrărilor de dezvoltare şi exploatare în condiţii de eficienţă şi calitate pentru toţi factorii;

- editarea la cerere a hărţilor topografice pe zone sau în ansamblu, cu sau fără diferite reţele trasate după opţiuni.

b) Realizări în cadrul F.R.E. Bistriţa:

- introducerea pe harta cadastrală a tuturor reţelelor aeriene şi în cablu, pentru toate categoriile de consumatori de 20 kV şi 0,4 kV cu datele de amplasament aferente;
- alocarea unei baze de date de fabricaţie şi de exploatare pentru fiecare tronson de reţea şi stocarea lor pentru vizualizare, listare sau alte aplicaţii;
- crearea unei biblioteci de simboluri pentru echipamente, scheme de posturi de transformare, firide generale şi de abonaţi;
- eliberarea de avize tehnice pentru executarea diferitelor lucrări de intervenţie sau de investiţii în oraş;
- determinarea încărcării întregii reţele începând de la firida de bloc (abonat) până la staţia de transformare pe fiecare tronson în parte şi pe structură de consumuri;
- proiectarea noilor instalaţii, utilizând baza de date create şi păstrate la zi;
- realizarea schemelor normale în reţeaua de 20 kV şi 0,4 kV pe baza indicatorului "pierderi minime";
- realizarea diferitelor scenarii de manevră, postavarie sau postincident în reţeaua de 20 kV şi 0,4 kV.

2. Gestionarea grafică a reţelelor de distribuţie

Activitatea F.R.E. Bistriţa constă în distribuţia energiei electrice la consumatori, în reţelele de medie tensiune (în exclusivitate de 20 kV) şi reţelele de joasă tensiune, precum şi producerea şi transportul energiei termice pentru municipiul Bistriţa.

Filiala este structurată pe trei centre de distribuţie a energiei electrice : Bistriţa, Năsăud, Beclean, un centru de reparat echipamente şi C.H.E.M.P. şi o centrală termică în Bistriţa cu o capacitate de 420 Gcal/h (apă caldă şi abur).

Volumul de instalaţii electrice din gestiunea filialei se prezintă astfel:

- linii electrice de 20 kV = 1042 km
- linii electrice de 0,4 kV = 1855 km
- linii electrice subterane de 20 kV = 127 km
- linii electrice subterane de 0,4 kV = 279 km
- posturi de transformare 20/0,4 kV = 511 buc.
- microhidrocentrale şi centrale electrice de mică putere =3buc.(3 MW)
- număr de consumatori = 96900 abonaţi
- energie electrică vândută în 1993 = 308000 Mkh
- pe teritoriul judeţului există opt staţii de transformare de 110/20 kV şi o centrală hidroelectrică la Colibiţa, instalaţii care nu aparţin filialei de reţele electrice Bistriţa.

Lucrarea se ocupă de probleme de strictă actualitate, şi anume creşterea nivelului calitativ al proiectării, execuţiei, exploatării şi întreţinerii instalaţiilor de distribuţie a energiei electrice prin utilizarea tehnicii de calcul.

Ea are la bază următoarele principii:

- informaţii exacte (grafice şi date tehnice) despre toate instalaţiile electrice din gestiune, informaţii care constituie baza de date;
- preluarea automată a acestei baze de date în diverse aplicaţii;
- comunicarea simplă între utilizator şi calculator pe cale grafică.

În acest fel lucrarea devine accesibilă chiar utilizatorilor cu pregătire medie, din toate domeniile de activitate ale filialei, furnizându-le informaţii utile foarte exacte.

Gestiunea grafică a instalaţiilor electrice utilizează programul de calcul CADMUS-E al firmei EGH Cluj, program care constituie un pachet de aplicaţii pe calculatoare compatibile IBM-PC, şi care oferă următoarele posibilităţi:

- realizarea pe calculator şi ţinerea la zi a evidenţelor tehnice aferente instalaţiilor electrice (grafic şi scriptic), ca bază de date pentru diverse aplicaţii;
- dezvoltarea unor aplicaţii tehnice şi economice pentru activităţile de proiectare, întreţinere, exploatare, furnizare şi activităţile financiar-contabile;
- interconectarea programului cu alte programe de calcul ca furnizor sau utilizator de date (exemplu: cu programul de facturare consumatori, teleconducere, evidenţa mijloacelor fixe etc.);
- interconectarea dintre reţelele de calculatoare ale unor instituţii locale (RENEL, RAGC, ROMTELECOM, ROMGAZ) în scopul asigurării printr-un dispecer la nivel de primărie, ţinerea la zi a cadastrului şi a tuturor instalaţiilor de electricitate, termoficare, telecomunicaţii, gaz, apă-canal, pentru supravegherea convieţuirii acestora.

2.1. Aplicaţii ale programului CADMUS-E implementate în cadrul FRE Bistriţa

2.1.1. Evidenţa tehnică a instalaţiilor electrice urbane

a) Aplicaţia utilizează ca date de intrare:

- ridicări topografice şi topometrice ale zonei urbanistice şi reţelelor electrice;
- date tehnice şi constructive ale instalaţiilor electrice.

b) Prin această aplicaţie se realizează următoarele:

- desenarea şi vizualizarea pe display, precum şi editarea pe imprimantă (utilizând culori şi semne convenţionale specifice) a o serie de documente: hărţi topografice ale localităţilor la scara 1 : 500; traseele reţelelor electrice şi detalii de amplasare a tuturor instalaţiilor de distribuţie a energiei electrice (reţele, staţii, posturi de transformare, branşamente, firide) cu toate elementele specifice, pe hărţi topo la scara 1 : 500;
- desenarea de noi trasee şi instalaţii în urma extinderii celor existente;
- detalierea la scară mărită a unei zone din cadrul hărţilor, inclusiv a instalaţiilor aferente;
- vizualizarea şi separarea unei singure instalaţii de pe hartă;
- obţinerea de date topometrice privind amplasarea instalaţiilor electrice între ele şi baza de construcţii sau instalaţii de altă natură.

Evidenţele tehnice astfel realizate constituie suportul de informaţie grafică între utilizator şi calculator, precum şi baza de date pentru diverse alte aplicaţii.

Ea este realizată în colaborare cu EGH Cluj.

2.1.2. Centralizarea consumatorilor şi a energiei consumate de aceştia pe firide şi posturi de transformare, în vederea modelării curbelor de sarcină zilnică în nodurile reţelei de medie şi joasă tensiune

Aplicaţia are la bază programul CADMOS-E şi apelează date din alte două programe:

- facturarea consumatorilor (casnici, mici, mari) ai FRE Bistriţa;
- optimizarea regimurilor de funcţionare a reţelelor de distribuţie urbană şi rurală ale Universităţii Tehnice "Gh. Asachi" Iaşi.

a) Aplicaţia utilizează ca date de intrare:

- scheme grafice ale instalaţiilor electrice;
- energia citită din cărţile abonaţilor şi fişele consumatorilor;
- grafice de sarcină tip sau specifice anumitor consumatori pentru zile lucrătoare şi nelucrătoare de vară şi iarnă.

b) Ca rezultate, aplicaţia modelează grafice de sarcină zilnică din firidă şi posturi de transformare.

Această aplicaţie constituie baza de date pentru multiple alte aplicaţii.

2.1.3. Optimizarea regimurilor de funcţionare a reţelelor de distribuţie 20 kV urbane şi rurale

Aplicaţia este realizată în colaborare cu Universitatea Tehnică "Gh. Asachi" Iaşi şi EGH Cluj.

a) Ea utilizează ca date de intrare:

- schemele grafice ale instalaţiilor electrice;
- caracteristicile tehnice ale reţelelor analizate;
- consumurile energetice sau măsurătorile de sarcină din posturile de transformare.

b) Prin această aplicaţie se determină următoarele:

- circulaţia de puteri în regimurile caracteristice anuale;
- gradul de încărcare a elementelor reţelei;
- pierderile de energie pe elemente de reţea şi total reţea;
- calculul indicatorilor statistici de analiză a calităţii energiei furnizate;
- punctele optime de secţionare a reţelei de medie tensiune;
- puterile optime ale transformatoarelor din posturile de transformare în funcţie de încărcarea reală, calculate conform instrucţiunilor RENEL Ip 51/2-93 .

c) Aplicaţia se derulează în cadrul programului CADMUS-E în felul următor:

- descrierea reţelei care urmează să fie utilizată se face de către operator, prin parcurgerea cu cursorul a instalaţiei supuse analizei.

Datele de intrare sunt preluate automat din bazele de date create de următoarele programe de calcul:

- evidenţa tehnică a instalaţiilor;
- facturarea consumatorilor.

Datorită faptului că aceste date sunt ţinute la zi rezultatele lucrărilor au o mare exactitate.

3. Aplicaţii ale programului CADMOS-E în curs, sau care urmează să se implementeze în cadrul FRE Bistriţa:

- Evidenţa tehnică a instalaţiilor electrice rurale
- Optimizarea regimurilor de funcţionare a reţelelor de 0,4 kV

• Elaborarea avizelor edilitare

• Calcule şi soluţii pentru alimentarea consumatorilor noi

• Elaborarea pe calculator a unor documente operative (foi de manevră, autorizaţie de lucru)

• Actualizarea şi completarea documentaţiilor specifice activităţii de exploatare şi întreţinere

• Dispecerizarea asistată de calculator a reţelelor de energie electrică

• Vizualizarea operativă, la nivelul factorilor de decizie, a abaterilor de la schemele normale şi a zonelor realimentate cu energie electrică

• Evidenţierea cheltuielilor materiale pentru toate categoriile de instalaţii şi echipamente

• Inventarierea mijloacelor fixe şi a elementelor de instalaţii în funcţie de diferite criterii (categorii, zone, anul punerii în funcţiune etc.)

• Instruirea şi examinarea personalului.

4. Modul de realizare a lucrării

Lucrarea a început în anul 1992, iar până în prezent au fost implementate pe calculator următoarele:

- hărţile topografice ale oraşelor Bistriţa, Năsăud, Beclean, în suprafaţă totală de 780 ha. Această lucrare a fost finanţată de către firmele utilizatoare: Primărie, RAGC, ROMTELECOM. RENEL şi realizată de către firme specializate, inclusiv de către topometrii din cadrul FRE Bistriţa;

- grafica şi datele tehnice ale instalaţiilor electrice de joasă tensiune ale oraşelor Bistriţa şi Năsăud. Datele au fost culese din teren şi din evidenţele tehnice ale filialei de către personalul centrelor de distribuţie a energiei electrice, precum şi ale biroului tehnic, pentru această activitate fiind afectate două persoane zilnic;

- aplicaţiile prezentate în lucrare, care au fost realizare de către Oficiul de calcul al filialei şi firme specializate, EGH Cluj şi Universitatea Tehnică "Gh. Asachi" Iaşi;

- lucrarea este întreţinută la zi de către operatorii din cadrul centrelor de distribuţie a energiei electrice.

Ca eficienţă a investiţiei realizate până în prezent, legată de lucrarea "Gestiunea grafică a reţelelor", se poate enumera:

- proiectarea reţelelor electrice pe baza unor date exacte, obţinute operativ din banca de date a lucrării;

- scurtarea timpilor şi reducerea costurilor aferente acordării avizelor edilitare şi energetice;

- identificarea operativă a configuraţiei instalaţiilor şi vecinătăţilor acestora în vederea executării unor lucrări planificate sau eliminării defectelor;

- utilizarea configuraţiei reţelelor de medie tensiune în diferite perioade ale anului în vederea reducerii consumului propriu tehnologic;

- dimensionarea transformatoarelor din posturile de transformare din punctul de vedere al funcţionării economice a acestora.

Pe măsura dezvoltării lucrării "Gestiunea grafică a reţelelor" şi în mediul rural, precum şi pe măsura implementării şi a altor aplicaţii enumerate anterior, se vor obţine avantaje privind eficientizarea activităţii filialei.

Concluzii

Lucrarea se înscrie în problematica generală care preocupă astăzi pe toţi factorii care concură la dezvoltarea şi gestionarea reţelelor edilitare din zone urbane şi rurale.

Ea oferă posibilitatea coordonării tuturor gestiunilor de reţele de către organele locale, utilizând baza de date comună referitoare la cadastrul prin angrenarea unui schimb de informaţii în timp real cu ajutorul reţelelor de calculatoare.

- Având în vedere stratificarea reţelelor pe diferite tipuri şi niveluri lucrarea este utilă pentru o gamă largă de utilizatori pe specializări înguste, care pot dispune fiecare de informaţiile necesare, asigurând în acelaşi timp şi o colaborare perfectă.

Lucrarea permite dezvoltarea de aplicaţii specializate pentru diverşi utilizatori, având aceeaşi bază generală de date, fără a o stânjeni reciproc.

BIBLIOGRAFIE

[1] Preda, L., Heinrich, I., Buhuşi, P., Ivas, A., Gheju, P. *Staţii şi posturi de transformare*. Editura Tehnică, Bucureşti, 1988.

[2] Preda, L. *Partea electrică a centralelor şi staţiilor*. Editura Tehnică, Bucureşti, 1987.

[3] Iacobescu, Gh., Iordănescu, I., Tenovici, R. *Reţele electrice*. Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1975

[4] Crişan, O. *Sisteme electroenergetice*. Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1978

[5] * * * *Raport d'activite au services industriels ville de Martigny* 1994

Referent: ing. Corneliu Pâslaru - GDTDEE

(Primit la 8 mai 1995, acceptat la 14 august 1995)

❑

ECRANAREA ELECTROMAGNETICĂ A LABORATOARELOR DE ÎNALTĂ TENSIUNE - CERINŢĂ ESENŢIALĂ ÎN CONTEXTUL COMPATIBILITĂŢII ELECTROMAGNETICE

Introducere

Ecranarea electromagnetică a laboratoarelor de înaltă tensiune (L.I.T.) se realizează în sistem cuşcă Faraday, printr-un ecran din tablă de cupru, aluminiu sau fier, legat la priza de pământ a laboratorului. Ecranul limitează la valori admisibile perturbaţiile electromagnetice care rezultă în urma producerii impulsurilor de înaltă tensiune, sau a descărcarilor electrice din timpul încercărilor - perturbaţii care s-ar propaga în exteriorul laboratorului. Se impune şi o atenuare a perturbaţiilor din exterior (descărcări sub formă de trăsnet, perturbaţii produse de motoarele unor autovehicule, unde electromagnetice RTV) - care nu ar permite măsurarea în LIT a descărcărilor electrice parţiale.

În funcţie de dimensiunile unui LIT - cantitatea de material necesară realizării unei astfel de ecranări poate să fie mare şi reprezintă o investiţie importantă. În tabelul 1 sunt prezentate dimensiunile şi principalele instalaţii de încercare are unor LIT din ţara noastră [11].

1. Atenuarea - eficienţa ecranării electromagnetice

Q , factorul de ecranare, este definit atât pentru raportul dintre intensităţile câmpului electric ($E_{1\ iniţial} > E_{2\ atenuat}$), cât şi pentru raportul dintre intensităţile câmpului magnetic ($H_1 > H_2$):

$$Q_e = E_1 / E_2 \quad \text{şi} \quad Q_h = H_1 / H_2 \qquad (1)$$

Atenuarea - calculată ca şi logaritmul factorului de ecranare - se poate exprima prin:

$$A_e = \ln Q_e = \ln E_1 / E_2 \quad [\text{Np}] \qquad (2)$$

sau

$$A_e = 20 \lg Q_e = 20 \lg E_1 / E_2 \quad [\text{dB}] \qquad (3)$$

Ecranarea electromagnetică este o problemă de câmp electromagnetic în regim cvasistaţionar, în care factorul de ecranare Q este o mărime complexă de punct. Pentru o zonă ecranată cuprinsă între două plăci de dimensiuni foarte mari - situate paralel la distanţa 2 D între feţele interioare, având pereţii de grosime G, cu conductivitatea electrică σ şi permeabilitatea magnetică μ, atenuarea A_e în [Np] se poate calcula cu relaţiile [6]:

$$A_e = 1/2 \ln\left[1+(2D*G*\mu_r / \delta^2)^2\right] \text{ pentru } G<\delta \qquad (4)$$

Tabelul 1

Laboratoare de înaltă tensiune în România

Nr. crt.	Laboratorul de înaltă tensiune	Dimensiuni [m] Anul P.I.F.	ITA U [kV] S [kVA]	ITC U [kV] I [mA]	GIT U [kV] E [kWs]
1	Electroputere Craiova	84 * 36 * 27	1800	1200	4200
		1971	1800	30	336
2	Electroceramica Turda	36 * 24 * 18	800	220	2000
		1972	600	50	100
3	I.C.P.E. Bucureşti	36 * 24 * 18	1200	1200	1200
		1973	2000	30	144
4	GSCI Bucureşti	36 * 24 * 21	1200	800	2400
		1975	1500	30	192
5	Universitatea "Politehnica" Bucureşti	40 * 24 * 20	1800	1000	3500
		1975	1800	50	140
6	Universitatea Politehnică Timişoara	15 * 7 * 6	350	400/80	500
		1976	175	100/3	4,4
7	Universitatea Tehnică Iaşi	23 * 17 * 9	700	300	1000
		1980	350	50	12,5

$$A_e = G/\delta + \ln\left[\mu_r * D/(\delta\sqrt{2})\right] \text{ pentru } G>\delta \qquad (5)$$

Adâncimea de pătrundere δ a câmpului electromagnetic într-un semiplan conductor se

calculează cu relaţia (6) şi are valorile prezentate în tabelul 2.

$$\delta = 1/\sqrt{(\pi \cdot f \cdot \mu \cdot \sigma)} \qquad (6)$$

Tabelul 2

Adâncimea de pătrundere δ [mm]

Materialul /Frecvenţa	5 kHz	100 kHz	500 kHz	1000 kHz
Cu σ = 56 μS/m μ_r = 1	0,951	0,212	0,095	0,067
Al σ = 35 μS/m μ_r = 1	1,203	0,269	0,120	0,085
Fe σ = 10 μS/m μ_r = 200	0,159	0,035	0,016	0,011

Pentru o analiză comparativă a celor trei materiale de bază Cu, Al şi Fe s-a utilizat o formulă simplificată a atenuării A_e, provenind din relaţia (5), în care s-a renunţat la al doilea termen, rezultând o atenuare de bază minim asigurată:

$$A_e = 17{,}27753 * 10^{-3} * G * \sqrt{(f \cdot \mu_r \cdot \sigma}\ \text{[dB]} \qquad (7)$$

unde G [mm], f [Hz] şi σ [μS/m].

Rezultatele calculate în domeniul de frecvenţă 5 - 1000 kHz sunt conţinute în tabelul 3 şi duc la următoarele concluzii:

- un ecran din Al cu grosime dublă poate înlocui eficient un ecran din Cu cu grosime simplă;
- ecranul din Fe introduce o atenuare mărită datorită permitivităţii magnetice ridicate şi respectiv din cauza adâncimii de pătrundere mult mai mici în comparaţie cu celelalte materiale.

Tabelul 3

Atenuarea de bază minim asigurată A_e [dB]

Materialul /Frecvenţa	5 kHz	100 kHz	500 kHz	1000 kHz
Cu σ = 56 μS/m μ_r = 1, G = 1 mm	9,14	40,88	91,42	129,2
Al σ = 35 μS/m μ_r = 1, G = 2 mm	14,45	64,64	144,5	204,4
Fe σ = 10 μS/m μ_r = 200, G = 1 mm	54,63	244	546	772
Fe σ = 10 μS/m μ_r = 200, G = 2 mm	109	488	1092	1545

Măsurarea descărcărilor electrice părţiale în LIT se efectuează în domeniul de frecvenţă 10 -1000 kHz, în care atenuarea obţinută este mai mare de 60 dB (6,9 Np sau de 1000 de ori în valori absolute).

În domeniul frecvenţelor ridicare [MHz] eficienţa ecranării este condiţionată atât de utilizarea unor materiale cu o conductivitate electrică ridicată, deoarece atenuarea undelor plane se efectuează preponderent prin reflexii [5, 7], cât şi de adoptarea unor măsuri tehnice constructive de reducere la minimum a discontinuităţilor ecranului la uşi şi la trecerile practicate cu scopuri tehnologice (ventilaţie, iluminat, circuite telefonice).

Lucrarea [3] prezintă calculul factorul de ecranare atât la acţiunea unui câmp magnetic exterior cu variaţie în timp, tip treaptă (tabelul 4), cât şi la acţiunea unui câmp magnetic exterior cu variaţie în timp dublu exponenţială 20/200 ns (tabelul 5).

Valorile numerice din tabelele 4 şi 5 confirmă avantajul utilizării tablei din fier, precum şi faptul că rezultatele obţinute pentru excitaţia exterioară tip treaptă pot fi luate în considerare cu bună precizie şi pentru regimul tranzitoriu la excitaţie exterioară de formă dublu exponenţială.

Tabelul 4

Q_e şi A_e pentru câmp magnetic tip treaptă

Material (G = 1 mm)	Q_e	A_e [dB]
Cu σ = 56 μS/m μ_r = 1	$1{,}83 * 10^4$	85,34
Al σ = 35 μS/m μ_r = 1	$1{,}21 * 10^4$	81,74
Fe σ = 10 μS/m μ_r = 200	$6{,}56 * 10^5$	116

Tabelul 5

Q_e şi A_e pentru câmp magnetic dublu exponenţial

Material (G = 1 mm)	Q_e	A_e [dB]	Qh	Ah [dB]
Cu σ = 57 μS/m μ_r = 1	$1{,}52 * 10^5$	111	$2{,}78 * 10^2$	48,93
Al σ = 37 μS/m μ_r = 1	$1{,}56 * 10^5$	103	$1{,}86 * 10^2$	45,44
Fe σ = 10 μS/m μ_r = 200	$6{,}68 * 10^8$	174	$1{,}01 * 10^4$	80,17

2. Particularităţile constructive ale LIT din Timişoara şi măsurători experimentale

Laboratorul de înaltă tensiune al Universităţii Politehnica Timişoara a fost realizat cu o dublă ecranare:

- ecranul exterior este din tablă expandată din fier - soluţie care a fost aplicată şi pentru alte LIT [4, 10], rezultând o reducere importantă a greutăţii ecranului şi o economie de material;
- ecranul interior este din tablă de aluminiu (G = 2 mm) care a fost sudată în mediu de argon şi pentru care s-a aplicat prin lipire un strat de marmoroc - granule de marmură pe suport textil.

Verificarea atenuării perturbaţiilor electromagnetice exterioare s-a efectuat cu ajutorul unui aparat pentru măsurarea descărcărilor parţiale în izolaţia cablurilor realizat la ICPE Bucureşti, rezultând valori peste 60 dB.

Alimentarea cu energie electrică a instalaţiilor de încercare de înaltă tensiune este asigurată prin cabluri ecranate lungi de la un transformator de 10/0,4 kV, fără a se utiliza filtre trece-jos. Instalaţiile de încercare de înaltă tensiune sunt echipate în circuitul de alimentare de joasă tensiune cu descărcătoare cu rezistenţă variabilă de joasă tensiune şi cu eclatoare de protecţie.

Au fost încercate, şi au corespuns datelor de catalog, descărcătoarele cu rezistenţă variabilă DRVJ 0,5/2,5 fabricate de către Electroceramica Turda, care se pot folosi pentru limitarea supratensiunilor în reţelele de joasă tensiune [9].

O alternativă o constituie utilizarea diodelor DSAS (diode cu siliciu cu avalanşă simetrice) pe care firma BBC le produce în 40 de clase de tensiune - cu tensiunea de avalanşă având valori cuprinse între 400 V şi 3200 V [8].

Concluzii

Laboratoarele de înaltă tensiune din ţara noastră, fiind ecranate electromagnetic, constituie o bază materială importantă şi pentru efectuarea unor măsurători şi încercări în domeniul perturbaţiilor electromagnetice şi al compatibilităţii electromagnetice. Eventuala completare cu aparate de măsură specializate nu reprezintă un efort financiar mai mare în comparaţie cu alternativa costului ecranării electromagnetice a unor noi laboratoare pentru încercări.

Verificarea încadrării în limitele standardizate a perturbaţiilor electromagnetice pe care le generează - de exemplu instalaţiile de sudare echipate cu oscilatoare de înaltă frecvenţă necesare creşterii stabilităţii arcului electric - se poate efectua cu precizie ridicată în laboratoare ecranate electromagnetic - cum sunt laboratoarele de înaltă tensiune.

BIBLIOGRAFIE

[1] Negru, V., Titihăzan, V. *Filtru trece - jos pentru ecranarea circuitelor de forţă a LIT:* In vol. Lucrări tehnico-ştiinţifice pag.243 - 247, Sesiunea de comunicări Electrotehnică şi Electroenergetică 13 - 15 mai 1977, IPTV Timişoara.

[2] Coatu, S., Nicoară, B. *Regimul tranzitoriu cvasistaţionar al ecranului electromagnetic dintr-un LIT.* In vol. Conferinţa de Electrotehnică şi Electroenergetică IPTV Timişoara 1982, pag, 11 - 23, vol.11. Supratensiuni şi coordonarea nivelului de izolaţie.

[3] Marinescu, A. *Ecranarea electromagnetică a LIT de la Electroputere Craiova.* In: Electrotehnica, nr.5, 1973, pag. 169 - 180.

[4] Hortopan, Gh., Vlase, I.O., Niţu, S. *Ecranarea electromagnetică în tehnica curenţilor intenşi.* Editura Tehnică, 1990.

[5] Mocanu, C. *Teoria câmpului electromagnetic,* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti 1981.

[6] Săndulescu, Gh. *Protecţia la perturbaţii în electronica aplicată, radio şi TV,* Editura Militară, 1990.

[7] Ionescu, Fl. *Diode semiconductoare şi redresoare de putere,* Editura Tehnică, 1995.

[8] Titihăzan, V., Titihăzan, M., Chirleşan, A., Balint, P., Niţ, T. *Protecţia la supratensiuni atmosferice a LEA de 0,4 kV în zonele izokeraunice A şi B din judeţul Alba .,* In vol. Conferinţa de Electroenergetică 17 - 18 noiembrie 1994, Universitatea Tehnică Timişoara, pag 388 - 392.

[9] Rotileanu, P. *Consideraţii asupra instalaţiilor de ecranare şi punere la pământ în tehnica tensiunilor înalte,* Laboratorul de înaltă tensiune al Institutului Politehnic Bucureşti, 1974.

[10] Titihăzan, V., Nagy, A., Caba, I. *Laboratorul de înaltă tensiune în activitatea de cercetare şi în activitatea didactică,* In vol.Conferinţa de Electroenergetică 17 - 18 noiembrie 1994, Universitatea Tehnică Timişoara, pag.243 - 249.

conf. dr. ing. VIOREL TITIHĂZAN, prof . dr. ing. VIOREL NEGRU, dr. ing. MARIANA TITIHĂZAN
Facultatea de Electrotehnică - Universitatea Politehnică Timişoara

Alimentarea cu energie electrică a tunelului de sub Marea Mânecii

1. Date generale privind tunelul

Tunelul de sub Marea Mânecii este una din marile realizări tehnice ale acestui sfârşit de secol. El reprezintă un mijloc de comunicaţie sigur şi rapid între Marea Britanie şi Europa occidentală.

Tunelul asigură următoarele categorii de trafic:

- traficul autoturismelor şi autocarelor în trenuri navete de pasageri;
- traficul greu în trenuri navete de marfă;
- trenuri directe de călători între Paris, Bruxelles şi Londra;
- trenuri de marfă între Franţa şi Marea Britanie.

Terminalul francez se află la Coquelles, aproape de Calais, iar cel britanic la Folkestone; prin aceste terminale se face legătura, atât cu căile ferate, cât şi cu autostrăzile din cele două ţări.

Tunelul cuprinde în fapt trei tuneluri distincte: două pentru calea ferată (câte unul pentru fiecare sens de circulaţie) şi o galerie de serviciu. Lungimea acestora este de 50 km, din care 38 km sub mare. Diametrul tunelurilor feroviare este de 8,70 m, iar al galeriei de serviciu 5,70 m: ele sunt situate între 25 şi 75 m sub fundul mării.

Lucrările de execuţie a tunelului, începute în anul 1988 şi terminate în 1994, au fost de o amploare şi de o complexitate deosebite şi au folosit cele mai moderne tehnologii.

2. Instalaţiile de alimentare cu energie

Alimentarea cu energie electrică a instalaţiilor tunelului este primordială pentru buna funcţionare şi siguranţa traficului, de aceasta depinzând nu numai tracţiunea propriu-zisă, ci şi iluminarea, semnalizarea, automatizarea, controlul traficului, ventilaţia, climatizarea, drenarea şi pomparea apelor de infiltraţie. Din acest motiv, alimentarea cu energie se face atât din partea franceză, cât şi din cea britanică.

Pentru tracţiune se foloseşte tensiunea de 25 kV c.a. monofazat, iar pentru serviciile auxiliare 21 kV; 3,3 kV şi 0,4 kV.

Alimentarea din Franţa se face prin racordarea la reţeaua EDF prin staţia Mandarins cu două autotransformatoare de 300 MVA, 400/225 kV şi prin trei circuite în cablu de 210 MVA, 225 kV, până la staţia principală a tunelului de la Coquelles. În situaţie normală unul din circuite alimentează sistemul de tracţiune de 25 kV, al doilea sistem de servicii auxiliare de 21 kV, iar al treilea este în rezervă. Sistemul permite o funcţionare sigură, putând face faţă defecţiunii unuia din cele două autotransformatoare de 400/225 kV sau unui sistem de bare din staţia Mandarins, precum şi unui circuit de 225 kV dintre Mandarins şi Coquelles. Chiar în cazul defectării ambelor autotransformatoare din staţia Mandarins se poate folosi o alimentare de siguranţă suplimentară de 225 kV din staţia Edingen (fig.1).

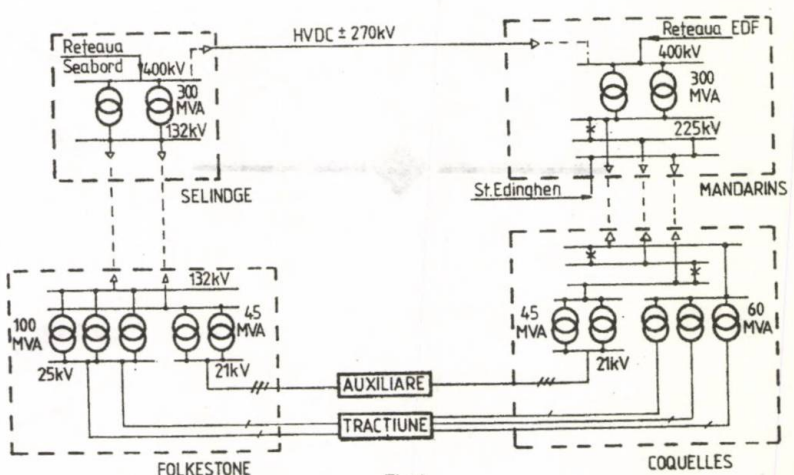


Fig.1.

De partea engleză, legătura la reţeaua societăţii Seabord se face în staţia Sellindge prin două autotransformatoare de 400/132 kV, 300 MVA şi prin două circuite în cablu de 240 MVA, 132 kV, de la această staţie până la staţia principală a tunelului de la Folkestone. Şi de această parte sistemul poate face faţă eventualelor defecţiuni ale unui autotransformator sau ale unui sistem de bare din staţia Sellindge sau ale unui circuit de 225 kV dintre Sellindge şi Folkestone.

Prin dubla alimentare din cele două ţări gradul de disponibilitate al asigurării instalaţiilor electrice se apropie de 100 %. Singurul caz care ar conduce la o reducere a serviciilor ar putea fi căderea totală a unuia din cele două sisteme naţionale; în acest caz, cealaltă reţea naţională ar putea prelua, prin intermediul unei reţele auxiliare a tunelului, o alimentare doar parţială, însă suficientă pentru a face faţă necesităţilor esenţiale ale tunelului.

O problemă de securitate constă în aceea de a evita punerea în paralel a reţelelor franceze şi britanice, datorită faptului că, deşi funcţionează la aceeaşi frecvenţă, există între ele un dezechilibru de fază *. Pentru rezolvarea acestui inconvenient s-a prevăzut un sistem de grupe de întrerupătoare interblocate, astfel încât un întrerupător dintr-o grupă să nu poată fi închis, decât dacă toate întrerupătoarele din cealaltă grupă sunt deschise.

3. Tracţiunea electrică

Alimentarea ramelor de tracţiune se face în curent alternativ monofazat 25 kV, 50 Hz. În staţiile principale de la Coquelles şi Folkestone există câte trei plecări de 25 kV pentru tracţiune, câte una pentru fiecare tunel şi una pentru terminal, fiecare plecare fiind legată pe câte o fază a sistemului.

Puterile electrice necesare pentru convoaiele de trecere sunt de ordinul 12 MW pentru navete şi 8 - 10 MW pentru trenuri. Ţinând seama de intervalul de succedare a convoaielor de 2,5 - 3 minute şi de puterile suplimentare cerute de diferenţele de nivel (rampa maximă 11,2 %, cota minimă - 126 m, cota maximă în Marea Britanie + 60 m şi în Franţa + 8 m), a rezultat o putere maximă de circa 85 MW, repartizată între cele două ţări. Pentru acoperirea acesteia există câte trei transformatoare monofazate de 60 MVA, la tensiunile de 225/25 kV în Franţa şi 132/25 kV în Marea Britanie.

Sistemul catenar constă din trei tipuri diferite: unul în tunele şi terminale pentru viteze până la 160 km/h, unul în terminale pentru viteze până la 100 km/h şi unul în zone de întreţinere pentru viteze până la 30 km/h.

4. Instalaţii auxiliare

Instalaţiile auxiliare: staţii de pompare, climatizare, iluminat, semnalizare, control etc. sunt alimentate printr-o reţea complexă, cuprinzând circa 250 km cabluri de 21 kV, 34 staţii de 21/3,3 kV, o reţea de circa 100 km cabluri de 3,3 kV, 148 posturi de transformare de 3,3/0,4 kV şi circa 800 km cabluri de 0,4 kV.

Reţeaua de punere la pământ constă din două cabluri neizolate de 50 mm^2 instalate de-a lungul tunelului. La acestea sunt racordate la distanţe de cel mult 375 m cablurile catenare de retur, precum şi toate părţile metalice ale echipamentelor electrice sau ale altor instalaţii, astfel încât tensiunile induse să fie menţinute sub limita de 25 V.

BIBLIOGRAFIE

[1] Pascal, A. *Alimentation électriqe du tunnel sous la Manche. Organisation générale.* In: REE, nr.2, 1995.

[2] Machefert-Tassin, I., Julien, L. *Interconexion ferroviaire France-Grande Bretagne.* In: REE , nr.2, 1995.

[3] Lancien, D. *Electronique et électrotechnique dans l'exploitation du tunnel sous la Mance.* In: REE, nr.2, 1995

[4] GIMELEC. *Les materiels électriques omniprésents dans le tunnel sous la Manche.* In: RGE, nr.7, 1994.

[5] Yates, J.B., Arnold, R. *HVDC submarine link between France and England.* In: MPS, febr, 1985.

ing. COSTIN RUCĂREANU

* Între staţiile Selindge din Marea Britanie şi Mandarins din Franţa există din anul 1986 o legătură printr-o instalaţie în cablu submarin HVDC, ± 270 kV de 70 kM, 2000 MW.

INHALT

Sonderausgabe "Elektroenergetische Ausrüstung. Beabspruchungen und Lösungen"

PETER SIMON: Neue Erfüllungen im Herstelleungs und Moderniesierungs bereich der Turbogeneratoren 157

MARIUS CONSTANTINESCU: Verdrehungsbeanspruchungen bei 800 MVA Turbinensatzbetrieb in die CNE Cernavodă 164

CONSTANTIN MOLDOVEANU, CONSTANTIN RADU, VIOREL GRIGORIU, VLAD ROŞCA: Eine Läsung um Störungen in die Tertiärewicklung der 200/200/6 MVA, 231/121/10,5 kV Einspulentransformatoren, in die 110 kV und 220 kV Netze, bei einphasige Kurzschlüße zu vermeiden 172

ROMULUS SFICHI: Bemessungsrechuung einer Filtern, Kompensierunganlage in dem Induktivitätausgleich der Filterkreispulen Hypothese 180

PAUL SVASTA, VIRGIL GOLUMBEANU, DANIEL LEONESCU: Elektrische Beanspruchung der Kondensatoren 183

IOAN ANDREICA, LAUREAN PREDA, DANIELA POPESCU: Einige Ausichten betreffen dem Verteilungs-netzenmanagement mit der Hilfe der Graphischeverwaltung 189

GESICHTSPUNKTE

VIOREL TITIHAZAN, VIOREL NEGRU, MARIANA TITIHAZAN: Die elektromagnetische Abschirmung der Hochspannungslabors eine wesentliche Forderung im Rahmen der electromagnetischen Kompatibilität 193

COSTIN RUCĂREANU: Die Stromversorgung des Tunnels unter dem Ärmelkanal 196

СОДЕЖАНИЕ

Специальный номер "Электроэнергетические устройства. Нагрузки и решения"

ПЕТЕР СИМОН: Новые достижения в области производства и обновления технологии турбогераторов 157

МАРИУС КОНСТАНТИНЕСКУ: Нагрузки на гручение в функционировании турбоагрегата 800 МВА атомной электрической станции Чернаводэ 164

КОНСТАНТИН МОЛДОВЕАНУ, КОНСТАНТИН РАДУ, ВИОРЕЛ ГРИГОРИУ, ВЛАД РОШКА : Решение во из бежание повреждения третичной обмотки автотрансформаторов 200/200/60 МВА 231/121/10,5 кВ в отнофазных коротких замыкаиях в сетях 110 и 220 кВ 172

РОМУЛУС СФИКИ : Расчёт для определения размеров фильтрущего компенсационного устройства в гипотезе равенства индуктивностей катушек фильтрующих цепей 180

ПАУЛ СВАСТА, ВИРДЖИЛ ГОЛУМБЕАНУ, ДАНИЕЛ ЛЕОНЕСКУ: Электрическая нагрузка конденсаторов 183

ИОАН АНДРЕИКА, ЛАУРЕАН ПРЕДА, ДАНИЭЛА ПОПЕСКУ: Некоторые виды управления распределительными электрическими сетями с помощью управленческой графики 189

ИНФОРМАЦИИ

ВИОРЕЛ ТИТИХЭЗАН, ВИОРЕЛ НЕГРУ, МАРИЯНА ТИТИХЭЗАН : Электромагнитное экранирование лабораторий высокого напряжения - главное требование в контексте электромагнитного соответствия 193

КОСТИН РУКЭРЕАНУ: Электропитание подводного туннеля под Ла Манш 196

CONTENT

Special Number "Electric Power Equipment. Stresses and Solutions"

PETER SIMON: New achievements in the field of turbogenerators manufacturing and retrofitting 157

MARIUS CONSTANTINESCU: Torque Loads in the 800 MVA Power Unit from the Cernavodă Nuclear Plant 164

CONSTANTIN MOLDOVEANU, CONSTANTIN RADU, VIOREL GRIGORIU, VLAD ROŞCA: Solution to Avoid the 200/200/60 MVA 231/121/20,5 kV Autotransformers Tertiary Winding Damage During Monophase Shortcircuits in the 110 kV and 220 kV Networks 172

ROMULUS SFICHI: The dimensions computation of a filtering and compensating installation in the hypolhesis of the filtering circuits coils inductanses equality 180

PAUL SVASTA, VIRGIL GOLUMBEANU, DANIEL LEONESCU: Condensers and the electric stress 183

IOAN ANDREICA, LAUREAN PREDA, DANIELA POPESCU: Some aspects related to the distribution networks management through graphic management 189

INFORMATION

VIOREL TITIHAZAN, VIOREL NEGRU, MARIANA TITIHAZAN: High voltage labs electromagnetic screening - an essential demend within the context of electromagnetic compatibility 193

COSTIN RUCĂREANU: The supply with electicity of the tunnel under the Channel 196

SOMMAIRE

Numéro Spécial "Équipement électroénergétique. Demandes et solutions"

PETER SIMON: Des nouvelles réalisations et tendances dans le domaine de la fabrication et de la rétechnologisation des turbogénératrices 157

MARIUS CONSTANTINESCU: Des sollicitations à torsion dans le fonctionnement du turboagrégat de 800 MVA de la CHE Cernavodă 164

CONSTANTIN MOLDOVEANU, CONSTANTIN RADU, VIOREL GRIGORIU, VLAD ROŞCA: Sollution pour ériter les défonts dus à l'enroulement tiers des autotransformateurs de 200/200/60 MVA 231/1U/10,5 kV aux souscircuits monophasés dans les réseaux de 110 kV et 220 kV 172

ROMULUS SFICHI: Calcul de dimension pour une installation de filtration - compensation dans l'hypothese de l'égalité des inductances des bobines des circuits filtrants 180

PAUL SVASTA, VIRGIL GOLUMBEANU, DANIEL LEONESCU: Sollicitation électrique des condensateurs 183

IOAN ANDREICA, LAUREAN PREDA, DANIELA POPESCU: Certeins aspects du managément des réseaux électriques de distribution à l'aide du gestion graphique 189

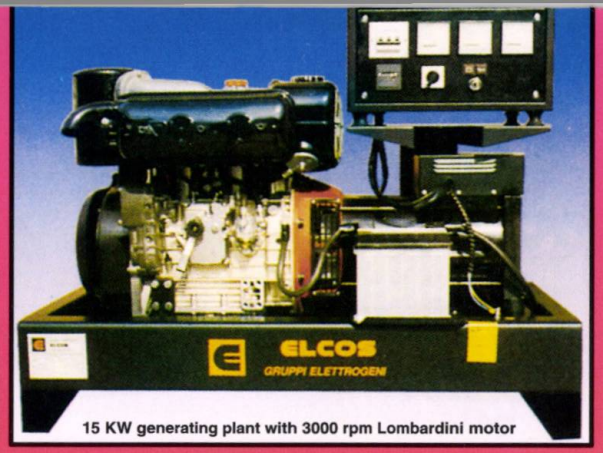
INFORMATIONS

VIOREL TITIHAZAN, VIOREL NEGRU, MARIANA TITIHAZAN: Le blindage électromagnétique des laboratoires à haute tension - demande essentielle dans le conteste de la compatibilité électromagnétique 193

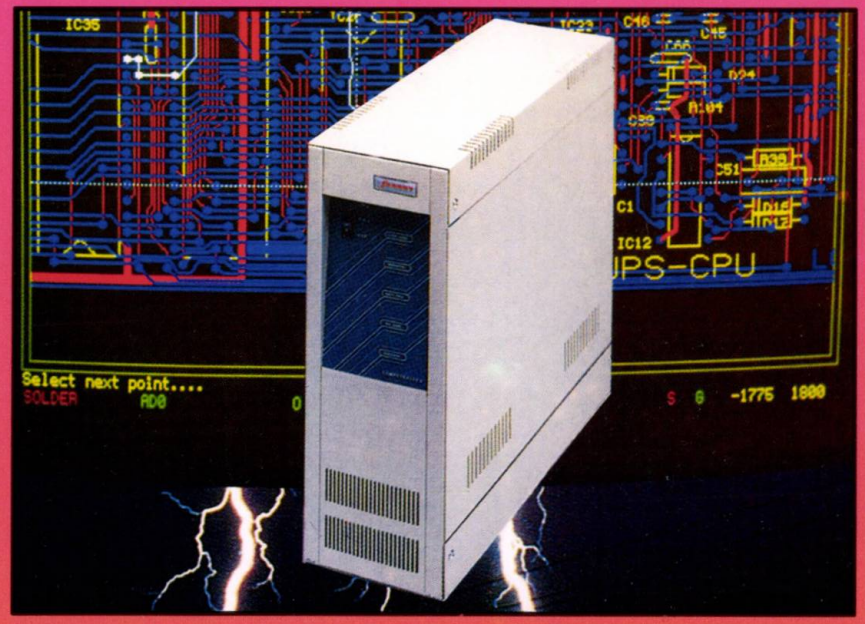
COSTIN RUCĂREANU: L'alimentation avec de l'énergie électrique du tunel de la Manche 196

RO SHANDY s.r.l.

TEL.: 0040/1/746.05.67
TEL./FAX: 0040/1/312.95.10
BUCUREŞTI sector 6,
BD. TIMIŞOARA 39, bl. 36, ap.11



15 KW generating plant with 3000 rpm Lombardini motor



Societatea româno-italiană **RO SHANDY SRL** a fost creată ca societate mixtă cu parteneri italieni producători de echipamente electronice. Societatea funcţionează în domeniile: comerţ, producţie, proiectare, service pe echipamente fabricate în ITALIA.

Echipamentele pe care le oferim sunt următoarele:

- **SURSE DE ALIMENTARE NEÎNTRERUPTĂ** (UPS) în gama 100W...26kVA cu aplicaţii de alimentare a calculatoarelor şi reţelelor de calculatoare, sisteme de telecomunicaţii, centrale digitale, aparatură medicală, procese automatizate.
- **INVERTOR+REDRESOR** gama 500 VA.....800 kVA cu aplicaţii industriale, navale etc.
- **INVERTOARE SPECIALE** 110 Vc.c./220 Vc.a. şi 220 Vc.c./220 Vc.a. pentru staţii electrice RENEL.
- **STABILIZATOARE C.A** mono şi trifazate 300 W.....100 kVA.
- **REDRESOARE** cu microprocesor pentru încărcarea bateriilor.
- **CONVERTIZOARE TRIFAZATE c.a./c.c.** reversibile, cu recuperare de energie în reţea, controlate cu microprocesor.
- **CONVERTIZOARE STATICE DE FRECVENŢĂ FIXĂ** în gama 45...400 Hz şi puteri 1...600 kVA.
- **CONVERTIZOARE STATICE DE FRECVENŢĂ VARIABILĂ** pentru acţionarea motoarelor asincrone, monofazate şi trifazate, cu microcontroler şi control de câmp cu puteri 0,75....110 kW.
- **DEMAROR DE MOTOARE ASINCRONE**
- **GRUPURI ELECTROGENE** cu motoare IVECO AIFO, CUMMINS, PERKINS, VOLVO PENTA, SAME, VM, LOMBARDINI, LISTER PETTER, cu gama între 2...1400 kVA, răcire cu apă sau aer insonorizate, mobile sau construite în bază fixă.

Întreprinderea producătoare italiană *SHANDY* este atestată ISO 9001, iar produsele sunt omologate de institutul german FACHAUSSCHUB ELEKTROTECHNIK.

CENTENAR ENERGETIC

100

FILIALA DE REŢELE ELECTRICE SIBIU

1896 ❖ Punerea în funcţiune

a centralei hidroelectrice SADU I
şi a liniei electrice 4,5 kV SADU - SIBIU
❖ prima linie de medie tensiune din ţară

1996 ❖ Manifestări în cinstea

CENTENARULUI ENERGETIC
SIBIU 1896 - 1996

❖ lansare MONOGRAFIA întreprinderii
❖ inaugurare MUZEU ENERGETIC
SADU I
❖ prezentare
REALIZĂRI TEHNICE DE VÂRF
ale specialiştilor filialei

MŰSZAKI INFORMÁCIÓS KÖNYVTÁR ÉS OKTATÁSÜGYI KÖZPONT 1883

E 2039/A
FF
8 000000 255686

5 ENERGETICA

SERIA B

Romania RENEL

e

SEPTEMBRIE-OCTOMBRIE 1996

ENERGETICIENI PROTEJAȚI NATURA!

Our competence begins where the fuel is brought in the power plant

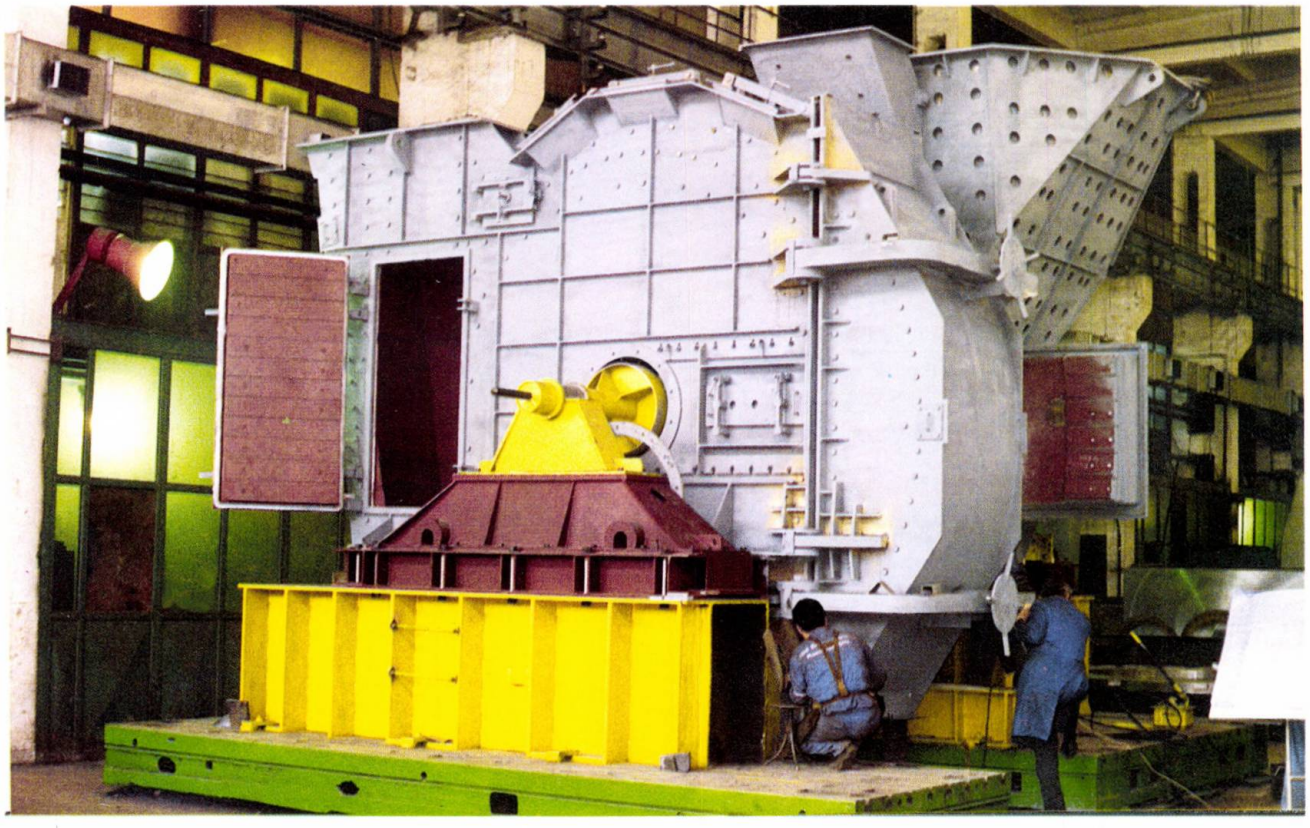


ABB Energoreparaţii Romania Ltd.
Bucharest

ABB Power T&D Ltd.
Bucharest

ABB Rometrics Ltd.
Timişoara

ABB Romania Ltd.
16, Ion Cîmpineanu street
70100 Bucharest

ABB

ENERGETICA

REVISTA DE SPECIALITATE
A ENERGETICIENILOR
DIN ROMÂNIA

ANUL 44 | Nr. 5, SERIA B | SEPTEMBRIE - OCTOMBRIE 1996

ISSN 1220 - 5141

Număr special "Optimizarea funcţionării reţelelor electrice"

Revista ENERGETICA a fost înfiinţată în anul 1953, continuând tradiţia vechilor publicaţii inginereşti care au avut preocupări în domeniul energiei ca, de exemplu:
- Diaru pentru vulgarizarea ştiinţelor naturale şi fizice (1870 - 1882);
- Buletinul Societăţii Politehnice (1887 - 1944);
- Buletinul Asociaţiei Generale a Inginerilor din România - AGIR (1919 - 1946);
- ENERGIA, editată de ing. Dumitru Leonida (1921);
- Buletinul Asociaţiei Producătorilor şi Distribuitorilor de Energie Electrică - APDE (1932 - 1944);
- Buletinul Institutului Român de Energie - IRE (1933 - 1944)

Opiniile exprimate în articolele publicate în revista ENERGETICA aparţin autorilor acestora.

Orice reproducere integrală sau parţială, prin indiferent ce procedeu, a materialelor apărute în revista ENERGETICA poate fi făcută numai cu aprobarea biroului de redacţie. Sunt autorizate numai citările destinate lucrărilor ştiinţifice şi volumelor în care acestea sunt inserate .

Revista apare alternativ în două serii :
- seria A, care tratează probleme de surse de energie, conversie de energie, poluare a mediului înconjurător, utilizare a căldurii etc.;
- seria B, care tratează probleme electrice, inclusiv ale centralelor electrice, staţiilor electrice, ale liniilor de transport şi distribuţie a energiei electrice , sisteme electroenergetice etc.
Fiecare serie are 6 numere pe an .

CUPRINS

ION TRISTIU, RACHID CHERKAOUI, ALAIN GERMOND, MIRCEA EREMIA, CONSTANTIN BULAC: Reconfiguration multicritère pour l'optimisation du fonctionnement des réseaux electriques de distribution 201

GABRIEL BAZACLIU, THEODOR MICLESCU, MARIUS POMÂRLEANU, VIRGIL DUMBRAVĂ, ALEXANDRU ITOAFĂ: Program de calcul şi metode euristice pentru rezolvarea problemei programării funcţionării optime a sistemului energetic naţional (SEN) pe perioade medii de timp 208

ALEXANDRU ITOAFĂ, CRISTINA POPESCU: Programarea funcţionării optimale a SEN pe perioade medii de timp 217

RODICA BALAURESCU: Verificarea siguranţei în funcţionare la declanşări de grupuri. Program de calcul al regimului postdinamic 222

VIRGIL DUMBRAVĂ, THEODOR MICLESCU, GABRIEL BAZACLIU: Stabilirea schemelor debuclate de funcţionare în reţelele de distribuţie complexe folosind metode euristice 226

ANCA POPESCU, MANFRED STEIN, DAN ANASTASIU: Puncte de vedere privind condiţiile de fundamentare şi dimensionare a reţelelor interne ale SEN 235

MIRCEA SCRIPCARIU, DANIELA SCRIPCARIU: Cu privire la oportunitatea economică a utilizării separatoarelor de secţionare telecomandate 239

INFORMAŢII

AMBROZIE ITOAFĂ, MIHAELA-DINCĂ PANAITESCU, RODICA BLAHOIANU, GEORGE MANOLESCU: Aspecte mai importante privind planificarea reţelelor electrice de repartiţie 225, 242

Our review publishes ADVERTISMENTS for your PRODUCTS, TECHNOLOGIES, SERVICES, etc.

Please, contact us at the address:
Revista ENERGETICA
GSCI, B-dul Energeticienilor nr.8,
Bucureşti III, RO 79619
Phone : (401)321 69 66/149
Fax: (401)321 10 10
Telex: 10783

COLEGIUL DE REDACŢIE

BIROUL: dr . ing. Eugeniu PAVEL - preşedinte, ing. Vasile RUGINĂ - redactor-şef; dr. ing. Jean CONSTANTINESCU - redactor-şef adjunct; prof. dr. ing. Dumitru Cezar IONESCU - redactor-şef adjunct; ing. Radu OPINCARU; ing. Ion CONECINI; ing. Vladimir CONSTANTINESCU; conf. dr. ing. Virgil MUŞATESCU ; ing. Dan GHEORGHIU; ing. Nicolae NICULESCU; ing. Mihai NICOLAU; dr. ing. Ioan GANEA

MEMBRI: conf. dr. ing. Florin ALEXE; ing. Ovidiu APOSTOL; prof. dr. ing. Victor ATHANASOVICI; prof. dr. ing. Adrian BADEA ; prof. dr. ing. Cornel BIANCHI; ing. Paul CARTIANU; ing. Mircea CÂRDU; ing.Radu CONSTANTIN; prof. dr. ing. Dorin CRISTESCU; prof. dr. ing. Nicolae DĂNILĂ; dr. ing. Laurenţiu GOIA; prof dr. ing. Nicolae GOLOVANOV ; prof. dr. ing. Dumitru IVAS; prof. dr. ing Aureliu LECA; dr. ing. Gheorghe LUCA; dr. ing. Magdalena MATEI; ing. Cornel MOŢIU; prof. dr. ing. Costin MOŢOIU ; prof. dr. ing. Constantin NEAGA; prof. ing. Mircea NEMEŞ; prof. dr. ing. Valeriu NISTREANU; ing. Cornel PĂSLARU; prof. dr. ing. Alexandru POEATĂ; dr. ing. Marius POMÂRLEANU; prof. dr. ing. Florin POP; dr. ing. Teodor POPA; dr. ing. Anca POPESCU; ing. Miron POPESCU; conf. dr. ing. Petre POSTOLACHE; dr. ing. Dan Ion PREDOIU; ing. Radu REGMAN; ing. Gabriel ROMAŞCU; ing. Anton ROŞU ; ing. Margarios SALGIAN; ing. Alexandru SĂNDULESCU; ing. Emilian SIMIAN; ing. Cristian TOTOLO; ing. Anton VLĂDESCU

Redactor : Ana Maria CHIVU

Editat cu sprijinul Ministerului Cercetării şi Tehnologiei - Colegiul Consultativ pentru Cercetare Ştiinţifică şi Dezvoltare Tehnologică

Redacţia şi administraţia: GSCI, B-dul Energeticienilor nr.8, sector 3, CP 79619, Bucureşti
Telefon: (401)321 69 66/149; Telex : 10783; Fax: (401)321 10 10

Tiparul executat la GSCI

RECONFIGURATION MULTICRITERE POUR L'OPTIMISATION DU FONCTIONNEMENT DES RESEAUX ELECTRIQUES DE DISTRIBUTION

ing. ION TRISTIU*, dr.ing. RACHID CHERKAOUI, dr. ing. ALAIN GERMOND
Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne

dr. ing. MIRCEA EREMIA, ing. CONSTANTIN BULAC
Université POLITEHNICA de Bucarest

În cadrul lucrării se tratează aspecte privind condiționarea unui proces de reconfigurare, pe baze euristice, a unei rețele de distribuție, ținând cont de rezultatele intermediare din cadrul aceluiași proces. Un aspect îl reprezintă alegerea criteriului de optimizare în funcție de starea rețelei.

De obicei, pentru regimuri normale de funcționare se urmărește minimizarea pierderilor de putere activă în condițiile respectării unor restricții tehnice și funcționale.

Pentru regimuri critice, criteriul trebuie ales astfel încât acestea să se îndepărteze cât mai mult de zona critică. În acest caz se poate urmări minimizarea încărcării feederilor sau a căderilor de tensiune sau o combinație a acestor criterii.

În scopul garantării unei soluții cât mai apropiate posibil de soluția optimă globală, se introduc în cadrul procesului de reconfigurare reguli având drept scop evitarea optimelor locale.

Pentru testarea obiectivelor propuse, în lucrare sunt prezentate rezultatele obținute pentru o rețea de mari dimensiuni.

The paper convers several aspects related to the establishment of certain conditions, on heuristic bases, to a reconfiguration process of a distribution network, taking into consideration the intermediate results obtained within this process.

One of the aspects is the selection of the optimization criterion in relationship with the network state.

As a general rule, the active power losses reduction under normal operating conditions with the observance of the technical and functional restrictions is envisaged.

In critical operating conditions the selected criterion should maintain the operation as far from the critical zone as possible.

In this case it is necessary to control both the feeders boading or voltage drop minimization or both of them.

In order to obtain the most reliable general solution rules meant to avoid the local optimum values are established for the reconfiguration process.

To test the proposed objectives the paper puts forward the results obtained on a large scale network.

Descriptori: rețele electrice de distribuție

1. Introduction

Un grand nombre de travaux publiés dans la littérature spécialisée du domaine considèrent la reconfiguration des réseaux électriques de distribution comme un moyen d'optimisation de leur fonctionnement. La reconfiguration a pour objet la recherche du schéma optimal de fonctionnement selon un certain point de vue. Cela suppose seulement la modification de l'état de fonctionnement "en service" / "hors de service" de certaines branches du réseau. La reconfiguration envisage les régimes normaux et critiques de fonctionnement. Pour les régimes défaillants, le processus de recherche d'une configuration de fonctionnement s'appelle reconstruction du réseau.

L'existence d'un grand nombre de configurations possibles de fonctionnement pour les réseaux de distribution résulte de la propriété d'arborescence du schéma d'exploitation [1, 2].

* En période de stage a l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne d'octobre '95 a juillet '96, financé par la Commission fédérale de bourse a Berne (Suisse).

Parmi ces configurations, seules certaines respectent les conditions d'un bon fonctionnement. On propose l'utilisation des méthodes heuristiques pour réduire le nombre des configurations étudiées par le processus de reconfiguration. Leur existence se base sur l'utilisation de règles et de connaissances, acquises par expérience, qui permettent d'étudier seulement les configurations qui convergent vers une solution finale proche ou même identique à la solution optimale. Comme l'optimum peut se référer à différents critères (pertes ohmiques, charges des lignes, chutes de tension etc.) on peut obtenir différentes configurations finales. On comprend donc l'importance du choix du critère dans le cadre du processus de reconfiguration. Dans un grand nombre de travaux publiés, on aborde soit le probleme de la réduction des pertes ohmiques [3, 4] soit la prise en considération d'autres aspects [5, 6].

L'usage des méthodes heuristiques offre l'avantage de réduire le temps et le volume de calcul, mais il y a le désavantage de tendre parfois vers une solution qui ne représente qu'un optimum local. Une des possibilités pour éviter les optima locaux et pour poursuivre le processus vers la configuration optimale est l'utilisation de la méthode qui, dans la littérature spécialisée, se rencontre sous le nom de méthode TABOU [7, 8].

L'application des méthodes heuristiques se distingue par trois types de stratégies de reconfiguration [8]:

- la stratégie "constructive", dans laquelle on part d'une configuration formée initialement seulement des noeuds source, puis on leur ajoute successivement des branches et des noeuds consommateurs pour obtenir la configuration souhaitée;

- la stratégie "destructive", dans laquelle on considere initialement toutes les branches en service et puis, en ouvrant successivement certaines branches, on obtient la configuration souhaitée;

- la stratégie de type "permutation de branches", dans laquelle on respecte constamment le caractère arborescent. Pour transiter d'une configuration vers une autre on ferme successivement une branche et on en ouvre une autre.

Pour cet article on propose une méthode de reconfiguration des réseaux de distribution pour les régimes normaux et critiques en utilisant une stratégie heuristique de type "permutation de branches". Premierement on aborde les aspects liés à l'adaptation du critère selon l'état du réseau, puis les aspects liés à l'application de la méthode TABOU dans le cadre du processus de reconfiguration.

2. Modèle mathématique du probleme d'optimisation

Pour écrire le modèle mathématique du problème d'optimisation pour la reconfiguration, on considère que, pour chaque réseau ayant N noeuds et L branches, on peut associer un graphe G(N,L). Les grandeurs d'état qui caractérisent un régime de fonctionnement du réseau sont:

- l'ensemble I des courants de branche;
- l'ensemble U des tensions aux noeuds;
- l'ensemble C des variables de décision représentant les états topologiques des branches; pour chaque branche l appartenant au graphe G l'état topologique peut être:
  - $c_l = 1$, si la branche est en service;
  - $c_l = 0$, si la branche est hors de service.

Dans ces conditions le modèle mathématique du problème d'optimisation peut s'écrire sous la forme:

$$\text{minimiser } [f(U,I,C)] \qquad (1)$$

sous les contraintes d'égalité et d'inégalité:

$$g(U,I,C) = 0 \qquad (2.a)$$

$$h(U,I,C) > 0 \qquad (2.b)$$

Dans la relation (1), $f(U,I,C)$ représente la fonction objectif qui, pour le cas général, peut être mise sous la forme:

$$f(U,I,C)=\alpha_1 f_1(U,I,C)+ \alpha_2 f_2(U,I,C) +...+ \alpha_n f_n(U,I,C) \qquad (3)$$

où

- $f_1, f_2, ..., f_n$ quantification des critères (aspects) pris en considération;
- $\alpha_1, \alpha_2, ..., \alpha_n$ coefficients de poids pour chaque critère.

Selon qu'on suit un ou plusieurs critères, la fonction objectif peut être unicritère ou multicritère.

Les critères plus souvent utilisés pour la reconfiguration des réseaux de distribution sont [9]:

- minimisation des pertes ohmiques;
- réduction et équilibre de la charge des branches;
- réduction des chutes de tension;
- coût de manoeuvres.

Les contraintes peuvent être fonctionnelles ou d'exploitation et se réfèrent à:

- lemme de Kirchhoff à propos des courants;
- arborescence du schéma d'exploitation;
- sécurité en fonctionnement, tant du point de vue de la charge des branches que du niveau de tension aux noeuds;
- nombre maximal de manoeuvres acceptées pour le changement de la configuration d'exploitation.

En général, la fonction objectif est non-linéaire, même dans le cas où on utilise un seul critère. Pour les critères les plus courants (pertes ohmiques, charges des lignes et chutes de tension) elle a une forme convexe, sauf si on considère le nombre et le coût des manoeuvres.

Dans ces conditions la tâche d'un processus de reconfiguration est de déterminer explicitement les valeurs des variables de décision C. Ces valeurs peuvent être choisies indépendamment en modifiant la configuration du réseau, mais le choix doit être fait de sorte que, sur l'ensemble du réseau, toutes les contraintes soient respectées. Ensuite pour chaque configuration on détermine les valeurs des courants par branches et des tensions aux noeuds par le calcul du régime permanent. Ce calcul peut être fait par des méthodes matricielles (Gauss-Seidel, Newton-Raphson etc.) mais à cause de la configuration arborescente on préfère la méthode simplifiée Ascendant - Descendant, qui présente l'avantage de réduire le temps de calcul nécessaire [10].

3. Adaptation du critère d'optimisation

Le problème de la recherche de la configuration optimale pour un réseau peut être formulé pour tous les régimes de fonctionnement: normal, critique et défaillant. Dans le cadre de l'activité d'exploitation, on s'intéresse premièrement à établir des régimes sûrs de long durée et puis des régimes optimaux de fonctionnement. Habituellement pour les régimes normaux, dans lesquels les grandeurs d'état sont entre les limites admissibles, on choisit un seul critère de reconfiguration, celui de minimiser les pertes ohmiques. En régime critique une ou plusieurs grandeurs d'état sont à la limite d'un fonctionnement normal. Les grandeurs les plus importantes dans cette situation sont les charges sur les lignes et le niveau des tensions du réseau. Pour de tels régimes, le choix du critère doit se faire pour que les grandeurs respectives s'éloignent au mieux possible de la zone critique. Dans ce qui suit, dans le processus de reconfiguration, seront pris en considération seulement les critères les plus importants:

- pertes ohmiques, ΔP;
- charge maximale sur les branches, $(I/I_{max})_{max}$;
- chute maximale de tension, $(\Delta U/U_n)_{max}$.

Dans la stratégie de type "permutation de branches" on peut utiliser deux alternatives:

- le choix d'une fonction objectif unicritere à condition que toutes les contraintes soient satisfaites;
- le choix d'une fonction objectif multicritère de forme (3) dans laquelle les contraintes violées sont prises en compte dans la fonction objectif par l'utilisation de coefficients de pénalisation.

L'usage d'une fonction multicritère pose le problème du choix des valeurs des coefficients de pénalisation. En plus, pour analyser les configurations, on ne peut plus utiliser de formules simplifiées pour estimer la variation de la fonction objectif [3], étant donné que chaque fois il est nécessaire de calculer le nouveau régime permanent. L'usage d'une fonction unicritère utilise, dans la plupart des cas, le critère de minimisation des pertes ohmiques. On n'examine que les configurations qui respectent toutes les contraintes et qui conduisent à la réduction de la valeur de la fonction objectif. Pour certains régimes critiques il peut être difficile de trouver

une configuration qui respecte toutes les demandes.

Pour éliminer les inconvénients précédents, on propose l'adaptation du critère selon l'état du réseau à chaque étape de la recherche. En principe cela utilise des fonctions unicritères dont le critère est établi de la maniere suivante (fig. 1):

- pour les régimes normaux on adopte comme critère la minimisation des pertes ohmiques (min[ΔP]). Seules sont admises les configurations améliorées qui respectent toutes les contraintes;

- pour les régimes critiques, on adopte comme critère celui qui conduit à l'élimination de la contrainte violée ($\min[(I/I_{max})_{max}]$ pour les violations de courants ou $\min[(\Delta U/U_n)_{max}]$ pour les violations de tensions). Dans le cas où il y a deux types de violations, on élimine d'abord une et puis l'autre. On accorde la priorité pour les violations des courants étant donné le danger qu'elles représentent. Seules sont admises les configurations améliorées qui conduisent à l'amélioration du régime.

On définit une configuration améliorée s' pour la configuration courante s celle qui conduit a la réduction de la valeur de la fonction objectif, f(s') < f(s).

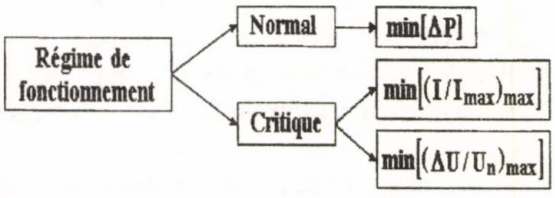


Fig.1 Critères de reconfiguration

Pour concrétiser ce que nous venons de présenter, des règles ont été élaborées pour le choix du critère et pour la validation des configurations.

● Règles pour le choix du critère:

R1: **SI** $(I/I_{max})_{max} \le 1$ **ET** $(\Delta U/U_n)_{max} \le \Delta U_{adm}$
ALORS le critère est min[ΔP].

R2: **SI** $(I/I_{max})_{max} > 1$
ALORS le critère est $\min[(I/I_{max})_{max}]$.

R3: **SI** $(I/I_{max})_{max} \le 1$ **ET** $(\Delta U/U_n)_{max} > \Delta U_{adm}$
ALORS le critère est $\min[(\Delta U/U_n)_{max}]$.

● Règles pour la validation des configurations améliorées:

R4: **SI** le critère est min[ΔP] **ET**
SI $(I/I_{max})_{max} \le 1$ **ET** $(\Delta U/U_n)_{max} \le \Delta U_{adm}$
ALORS on accepte la configuration
AUTREMENT on n'accepte pas la configuration.

R5: **SI** le critère est $\min[(\Delta U/U_n)_{max}]$ **ET**
SI $(I/I_{max})_{max} \le 1$
ALORS on accepte la configuration
AUTREMENT on n'accepte pas la configuration.

Pour la stratégie de type "permutation de branches", on peut rechercher une configuration améliorée en utilisant la méthode de voisinage. Dans cette méthode, à chaque étape de calcul, on recherche une solution améliorée s' en examinant toutes les configurations voisines de la configuration courante s, qui different de celle-ci par une permutation élémentaire. On définit par permutation élémentaire la permutation qui consiste à fermer une branche et à ouvrir une des branches adjacentes appartenant à la boucle ainsi formée (fig. 2).

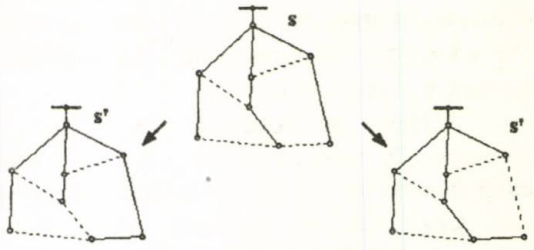


Fig.2 Permutations élémentaires

Dans la méthode du voisinage on utilise souvent des algorithmes de type descendant [8]. Le principe des algorithmes descendants consiste à générer successivement des configurations voisines à partir d'une branche ouverte. On utilise des permutations élémentaires et on ne retient que celles seules dont la valeur de la fonction objectif diminue.

4. Contournent des optima locaux

Lorsqu'on utilise certaines méthodes heuristiques, le problème de la convergence vers des optima locaux ne dépend que de la complexité du réseau et de la stratégie de recherche utilisée. A la rencontre d'un optimum local dans un processus (de type descendant) toutes les configurations

voisines analysées ne conduisent qu'à l'augmentation de la valeur de la fonction objectif. Il en résulte donc l'arrêt du processus respectif. Une méthode pour éviter si possible de stagner autour des optima locaux est la méthode TABOU.

Le principe de base de la méthode TABOU est identique à celui d'une méthode de type descendant [7, 8]. La différence fondamentale réside dans la manière dont on choisit une configuration de substitution. On considere comme configuration courante une configuration s^* moins performante que la dernière configuration améliorée s, ainsi $f(s^*) \geq f(s)$ (fig.3). Ensuite à partir de la configuration s^* on recherche une nouvelle configuration s' différente de s, pour laquelle $f(s') < f(s)$, en appliquant la méthode de type descendant utilisée auparavant. Pour garantir que s' soit différente de s on utilise la liste "tabou". Cette liste contient les branches ayant permis d'effectuer les N_d dernières permutations et à chaque étape du processus on évite d'utiliser les branches de cette liste lors de la constitution de nouvelles permutations. Evidemment à chaque étape les branches ayant séjourné pendant N_d étapes dans la liste en question sont retirées afin de pouvoir les réutiliser. La taille N_d de la liste dépend du nombre de branches qui doivent être ouvertes pour respecter l'arborescence (on le fixe à environ 80 % de cette valeur).

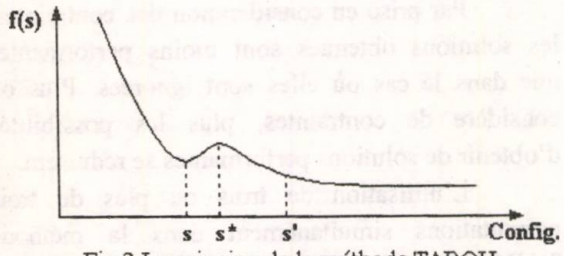


Fig.3 Le principe de la méthode TABOU

Dans le travail [8], pour générer des configurations voisines moins performantes s^* on utilise une seule permutation. On constate que pour les réseaux complexes cette manière ne conduit pas toujours vers une solution proche de la solution optimale. Pour aller un peu plus loin les auteurs du présent article ont essayé de générer des configurations voisines s^* en utilisant deux et puis trois permutations simultanément, en considérant seulement celles qui sont élémentaires. On peut utiliser plus de trois permutations élémentaires simultanément mais le nombre des configurations analysées croît de façon considérable, ce qui fait croître dans la même mesure le temps de calcul. Si par une seule configuration élémentaire on ne peut pas améliorer la configuration s on utilise deux et puis trois permutations élémentaires simultanément. Chaque fois qu'on trouve une configuration améliorée s' par la méthode TABOU on utilise de nouveau la méthode descendante normale jusqu'à la rencontre d'un nouvel optimum local.

5. Resultats obtenus

Pour appliquer ce qu'on vient de présenter un logiciel écrit en langage C a été réalisé. L'algorithme est présenté dans la fig.4. Les règles décrites dans le paragraphe 3 peuvent aisément être appliquées dans un langage spécialisé d'intelligence artificielle, par exemple Prolog. Ces règles ont été simulées dans le logiciel en C par l'utilisation des tests multiples.

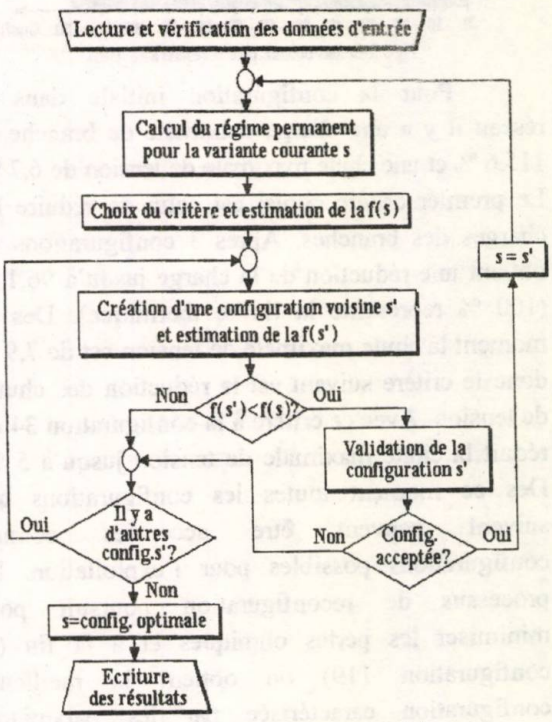


Fig.4 Algorithme du programme de calcul

Le logiciel a été testé sur le réseau RES_URB (annexe) ayant 230 noeuds et 306

branches. Les consommateurs ont été modélisés par des courants constants. Les transformateurs de noeuds n'ont pas été considérés. Pour la modélisation des branches on a été ignoré l'apport capacitif des câbles. Les résultats obtenus à la suite d'une reconfiguration par le changement de critère sont présentés dans la fig.5.

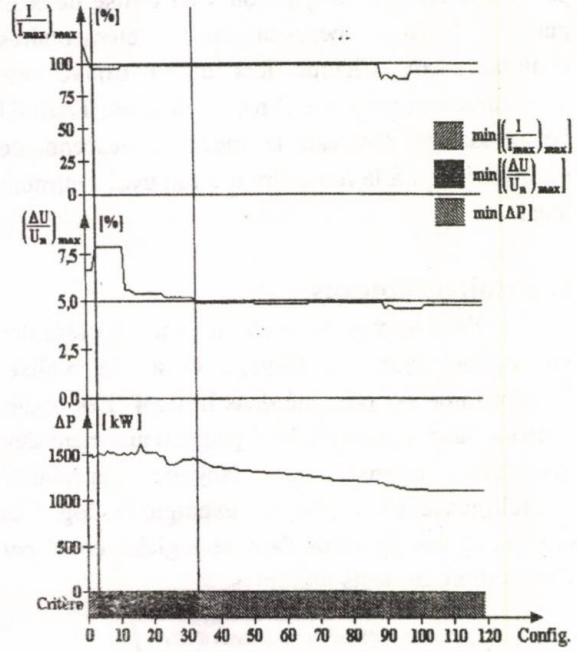


Fig.5 Resultats obtenus pour le réseau RES_URB

Pour la configuration initiale dans le réseau il y a une charge maximale de branche de 115,6 % et une chute maximale de tension de 6,7 %. Le premier critère choisi est celui de réduire les charges des branches. Après 3 configurations on obtient une réduction de la charge jusqu'à 96,1 % (100 % représente la limite thermique). Des ce moment la chute maximale de tension est de 7,9 % donc le critère suivant est la réduction des chutes de tension. Avec ce critère à la configuration 34 on réduit la chute maximale de tension jusqu'à 5 %. Des ce moment toutes les configurations qui suivent peuvent être acceptées comme configurations possibles pour l'exploitation. Le processus de reconfiguration poursuit pour minimiser les pertes ohmiques et à la fin (la configuration 119) on obtient la meilleure configuration caractérisée par les paramètres suivants: $\Delta P = 1104{,}3$ kW, $(I/I_{max})_{max} = 92{,}8$ % et $(\Delta U/U_n)_{max} = 4{,}8$ %. Pour obtenir cette configuration il a fallu appliquer deux fois la méthode TABOU avec une permutation élémentaire. Le premier minimum local pour les pertes ohmiques on a obtenu à la variante 108 ($\Delta P = 1107{,}6$ kW) et le deuxième à la variante 114 ($\Delta P = 1106{,}3$ kW). Dans la fig.6 on présente de façon détaillée la dernière partie de la courbe des pertes ohmiques de fig.5, pour mettre en évidence l'application de la méthode TABOU. L'usage de la méthode TABOU avec deux et puis trois permutations élémentaires simultanément n'a conduit à aucune amélioration.

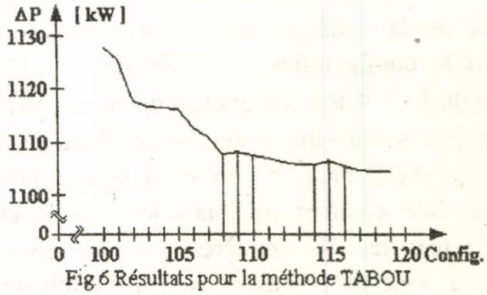


Fig.6 Résultats pour la méthode TABOU

Conclusions

La méthode de reconfiguration présentée, qui utilise le changement de critère selon l'état du réseau, est un moyen d'optimiser le fonctionnement des réseaux de distribution en tenant compte de plusieurs critères en même temps.

Par prise en considération des contraintes, les solutions obtenues sont moins performantes que dans le cas où elles sont ignorées. Plus on considère de contraintes, plus les possibilités d'obtenir de solutions performantes se réduisent.

L'utilisation de trois ou plus de trois permutations simultanément dans la méthode TABOU conduit à la croissance sensible du temps de calcul par rapport au temps normalement nécessaire pour obtenir une solution jusqu'à ce point-là. On constate que l'apparition des optima locaux a lieu autour de la solution optimale, ce qui fait que l'utilisation de la méthode TABOU ne conduit pas à de grandes améliorations. On peut considérer que l'utilisation de deux permutations au maximum peut conduire à des résultats satisfaisants.

ANNEXE

RESEAU URBAIN CIBLE: RES_URB

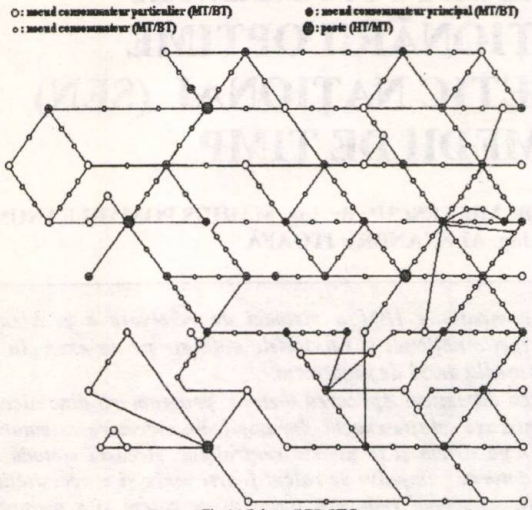


Fig.A1 Réseau RES_URB

BIBLIOGRAPHIE

[1] Persoz, H., Lemoine, J. C., Sapet, P. , Santucci, G. *La planification des réseaux électriques.* Edition Eyrolles, Paris 1984.

[2] Bercovici, M., Arie, A. A., Poeată, A. *Réseaux électriques. Calcul électrique.* Editeur Technique, Bucarest 1974.

[3] Cinvalar, S., Grainger, J.J., Yin, H., Lee, S.S.H. *Distribution Feeder Reconfiguration for Loss Reduction.* In: IEEE T-PWRD, Vol.3, No.3, July 1988.

[4] Goswami, S.K., Bassu, S.K. *A New Algorithm for the Reconfiguration of Distribution Feeders for Loss Minimisation.* In: IEEE T-PWRD, Vol.7, No.3, July 1992.

[5] Wu, J.S., Tomsovic, K.L., Chen, C.S. *A Heuristic Search Approach to Feeder Switching Operation for Overload, Faults, Unbalanced Flow and Maintenance.* In: IEEE T-PWRD, Vol.6, No.4, October 1991.

[6] Taylor, T., Lubkeman, D. *Implementation of Heuristic Search Strategies for Distribution Feeder Reconfiguration.* In: IEEE T-PWRD, Vol.5, No.1, January 1990.

[7] de Werra, D., Hertz, A. *Tabu Search Techniques - A Tutorial and an Application to Neural Networks.* OR Spektrum, Vol.11, 1989.

[8] R.Cherkaoui. *Méthodes heuristiques pour la recherche de configurations optimales d'un réseau électrique de distribution.* Thèse de doctorat no.1058, Lausanne, EPFL 1992.

[9] Cherkaoui, R., Germond, A. *Structure optimale de schéma d'exploitation d'un réseau électrique de distribution.* In: Revue Energetica, No.5 B, 1994

[10] Eremia, M., Tristiu, I., Radu, C., Bulac, C. *Méthode heuristique de reconfiguration des réseaux de distribution pour réduire les pertes de puissance et d'énergie.* In: Revue Energetica, No.5 B, 1995.

Referent : ing. Cristian Florin Bogoi - GSCI - CIT, Bucureşti

(Primit la 14 mai 1995, acceptat la 26 august 1996)

Remerciement

L'auteur principal, Ion Tristiu, remercie la Commission Fédérale de bourse en Suisse pour avoir financé son stage à l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (année académique '95 - '96) . Ce stage lui a permis d'effectuer les travaux faisant l'objet de cet article.

PROGRAM DE CALCUL ŞI METODE EURISTICE PENTRU REZOLVAREA PROBLEMEI PROGRAMĂRII FUNCŢIONĂRII OPTIME A SISTEMULUI ENERGETIC NAŢIONAL (SEN) PE PERIOADE MEDII DE TIMP

conf. dr. ing. GABRIEL BAZACLIU*; prof. dr. ing. THEODOR MICLESCU*; dr. ing. MARIUS POMÂRLEANU**, ş.l. ing. VIRGIL DUMBRAVĂ*, dr. ing. ALEXANDRU ITOAFĂ

Articolul prezintă implementarea pe calculatoare PC compatibile IBM a metodei de rezolvare a problemei funcţionării optime pe perioade medii de timp a sistemului energetic naţional şi rezultatele obţinute pe un exemplu de sistem energetic cu 45 de centrale şi 157 de grupuri pe un termen mediu de 52 de săptămâni.

Implementarea se bazează pe metoda clasică a programării dinamice. Aplicarea metodei programării dinamice la rezolvarea problemei programării funcţionării optime a SEN furnizează soluţia exactă, dar implică o cercetare sistematică a tuturor stărilor posibile pentru care sunt satisfăcute restricţiile pe sistem şi la nivelul centralelor. Această metodă nu poate fi aplicată pentru un sistem energetic de mari dimensiuni datorită timpului de calcul foarte mare şi a necesităţilor mari de memorie care cresc exponenţial cu numărul de grupuri. În scopul reducerii timpului de calcul şi a memoriei necesare au fost dezvoltate trei metode euristice. Prima selectează numărul de stări reţinute dintre cele generate în perioada anterioară. A doua limitează numărul de stări generate în perioada curentă. A treia metodă euristică permite selectarea soluţiilor posibile din numărul enorm de soluţii. La sfârşitul articolului sunt prezentate rezultatele obţinute cu ajutorul acestor trei metode.

This paper presents the implementation of a method for the solving of the optimal unit commitment problem in National Power System (NPS) on IBM compatible PCs over a medium term horizon and the test results obtaind on an example of a power system with 45 power plants and 157 generating units over a medium term of 52 weeks.

The implementation is based on the classical dynamic programming method. The dynamic programming method for the solving of optimal unit commitment problem provides the exact solution but implies a systematic search of all feasible states for which the system and power plant constraints are satisfied. This method cannot be applied to a large power system due to its huge computation time and large memory requirements which increase exponentially with the number of generating units. Three heuristic procedures have been developed to reduce the computation time and memory requirements. The first one selects the number of saved states from the previous period. The second one limits the number of generated states for the current period. A third heuristic method allows for the selection of the feasible solutions from the huge number of all solutions. The results obtained throngh these methods are presented in the end of the paper.

Descriptori: sistemul energetic naţional, programarea funcţionării optime, metode euristice

Introducere

Aplicarea metodei clasice a programării dinamice pentru rezolvarea planificării funcţionării optime pe termen scurt a grupurilor termo ale sistemului energetic, fără luarea în considerare a opririlor pentru revizii/ reparaţii planificate, a fost expusă în [4]. În [5,6,7] sunt prezentate modificări ale acestei metode,efectuate în scopul reducerii timpului de calcul şi a necesităţilor de memorie. Cu toate îmbunătăţirile aduse, aceste noi metode continuă să rămână inaplicabile la sisteme energetice de dimensiuni mari sau la modele matematice mai compexe. De aceea, efortul de cercetare a fost îndreptat în direcţia unor algoritme suboptimale, care au necesităţi de timp de calcul şi de memorie rezonabile, permiţând rezolvarea problemei pentru sisteme energetice de dimensiuni reale. Cercetările recente sunt îndreptate către utilizarea metodelor euristice [8, 9], a algoritmelor genetice [13], a metodei de simulare a răcirii controlate (Simulated Annealing) [11] şi a tehnicilor de inteligenţă artificială: reţele neuronale artificiale [10] şi sisteme expert [12].

Problema planificării funcţionării optime a SEN pe perioade medii de timp are un model matematic deosebit de complex, care are în vedere numeroase aspecte probabiliste. În prezenta lucrare

* Universitatea "Politehnica" Bucureşti.
** Grupul de Studii, Cercetare şi Inginerie - GSCI.

se propune o rezolvare prin metoda programării dinamice, folosind metode euristice de selectare a stărilor. Modelul şi metoda de rezolvare sunt expuse în [1] şi [2].

Într-o primă etapă a cercetării a fost elaborat un program de calcul experimental care să permită rezolvarea problemei pe un model redus de sistem energetic. Această primă etapă a arătat că rezolvarea problemei prin metoda exactă iniţial propusă pentru o perioadă de planificare de un an este imposibilă cu mijloacele de calcul disponibile la ora actuală, chiar şi pentru un model foarte redus de sistem energetic. De aceea a fost necesară implementarea unor metode euristice de rezolvare.

Faza a doua a cercetării a avut ca scop perfecţionarea programului de calcul pentru rezolvarea planificării funcţionării optime a sistemului energetic naţional pe durata unui an pentru un exemplu de calcul de dimensiunea parcului de maşini al SEN [3].

În scopul verificării algoritmului şi punerii la punct a programului de calcul a fost ales un exemplu de calcul redus cu două centrale, având fiecare câte două grupuri . Curba de sarcină a fost modelată prin şase paliere de putere constantă. Pe fiecare pas de timp s-a presupus că se pot consuma h = 0,1,...,5 cuante de energie hidroelectrică (EHE). Pentru fiecare palier al curbei de sarcină s-a considerat că pot apărea în mod aleator q=1,2,3 valori cu probabilităţile $p_{t,j,1}$=0,25, $p_{t,j,2}$=0,50, $p_{t,j,3}$=0,25 (t=1,2,...,52, j=1,2,...,6).

Numărul maxim de cuante de EHE a fost luat N=13, iar numărul de cuante de EHE care pot apărea aleator N_a=3 cu probabilităţile p_1=0,75, p_2=0,50, p_3=0,25. S-a considerat că valoarea procentuală a puterii admise pentru sacrificarea consumatorilor este de 10% din puterea maximă pe pasul de timp respectiv. Acest exemplu de calcul a fost rulat pentru T=4 paşi de timp. Pentru paşii de timp nr. 1, 2, 3 şi 4 au fost obţinute un număr de 32, 752, 13 357 şi respectiv 7 263 de stări. Durata totală a execuţiei programului a fost de 2 ore şi 15 minute, din care 942 s timp UC pe un calculator PC AT 386 cu coprocesor matematic. Pe un calculator PC AT 386 fără coprocesor matematic durata de execuţie a aceluiaşi exemplu este de circa 12 ore. Fişierul de memorare a deciziilor a ajuns la o dimensiune de 1 361 kiloocteţi, iar fişierele intermediare de memorare a stărilor corespunzătoare paşilor nr.3 şi nr. 4 de timp au atins dimensiunile de 6 839, respectiv 3 718 kiloocteţi. Între cea mai bună şi cea mai proastă soluţie s-a obţinut un câştig procentual al cheltuielilor totale de 90,04 %.

Între cea mai bună soluţie şi o soluţie de funcţionare oarecare putem avea un câştig procentual mediu egal cu 45,02 % , adică jumătate din câştigul procentual maxim. Rezultatul spectaculos obţinut nu poate fi deocamdată generalizat, el putându-se datora unor valori ale datelor de intrare sau unor particularităţi ale exemplului de calcul studiat. Cu toate aceste rezerve se poate aprecia că prin aplicarea planificării optime a funcţionării sistemului energetic se pot obţine economii importante de cheltuieli. Economiile în unităţi băneşti sunt cu atât mai mari cu cît dimensiunea problemei creşte chiar şi la valori mici ale economiilor procentuale.

Din exemplul studiat rezultă că mărirea în continuare a numărului de paşi de timp şi a numărului de cuante de EHE conduce la o creştere peste limitele admisibile a timpului de calcul şi a memoriei ocupate de rezultate chiar şi pentru acest caz foarte redus.

Metoda de rezolvare exactă abordată constă în principiu din enumerarea pe un pas de timp a tuturor deciziilor posibile şi reţinerea acelora care respectă toate restricţiile problemei, ducând la stări distincte. Atunci când decizii diferite duc la stări generate echivalente se reţine numai decizia care stabileşte cheltuieli totale minime. Metoda are avantajul de a conduce totdeauna la soluţia optimă.

Dezavantajul metodei constă în aceea că timpul de calcul creşte exponenţial cu durata T a planificării şi cu numărul de grupuri. Dacă avem G grupuri şi nu există nici un fel de restricţii atunci numărul de decizii pe un pas de timp este 2^G, iar pentru întreg intervalul de planificare putem avea maxim $ND=2^{GT}$ decizii. Pentru G=2 şi T=52 se obţin $ND=2{,}03\cdot10^{31}$ decizii. Restricţiile problemei reduc din numărul de decizii sau stări teoretic posibile, dar numărul acestora rămâne în continuare foarte mare.

Deoarece rezolvarea problemei prin metoda exactă iniţial propusă nu este posibilă cu mijloacele de calcul disponibile la ora actuală s-a încercat rezolvarea problemei cu ajutorul unor metode euristice .

În perfecţionarea programului a fost utilizat în continuare acelaşi model matematic, rezolvat tot prin metoda programării dinamice. Pentru rezolvarea problemei au fost necesare numai modificări ale algoritmului de calcul şi ale programului de calcul.

1. Metode euristice

În scopul micşorării timpului de calcul şi a memoriei utilizate pentru reţinerea strategiilor şi a stărilor pe fiecare pas de timp t se face o alegere euristică pentru două categorii de mărimi :

- numărul de stări reţinute din pasul anterior (SR);
- numărul de stări generate (SG).

Introducerea acestor modificări în desfăşurarea algoritmului este ilustrată în figura 1.

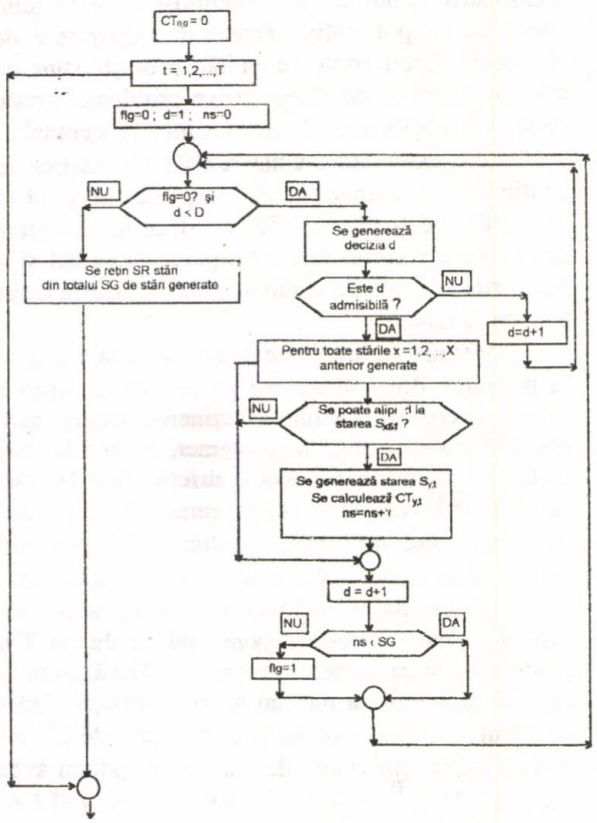


Fig.1. Modificarea algoritmului la introducerea metodelor euristice de selectare a stărilor reţinute (SR) şi limitare a numărului de stări generate (SG).

La iniţializarea algoritmului (pasul de timp convenţional notat cu $t = 0$) există o singură stare, şi anume cea corespunzătoare ultimei situaţii de funcţionare din anul anterior. În primul pas de timp se generează decizii până ce numărul de stări ce iau naştere din alipirea acestor decizii la starea din anul precedent depăşeşte valoarea SG. Din numărul total de stări generate ns ≥ SG sunt reţinute numai o parte (SR, SR ≤ SG), celelalte fiind eliminate. Procedeul se repetă pe fiecare pas de timp, în mod asemănător, cu diferenţa că la fiecare pas de timp $t \geq 2$ avem SR stări reţinute din pasul anterior, la care pot fi alipite deciziile nou generate. Deci X din figura 1 este de fapt SR.

Operaţia de reţinere a stărilor care sunt menţinute la trecerea de la un pas de timp la următorul şi de eliminare a stărilor şi deciziilor nereţinute va fi denumită în continuare cu termenul de filtrare. Au fost implementate două metode de filtrare, denumite simbolic F2 şi F3.

Valoarea parametrului SG poate fi modificată în datele de intrare de către utilizator. Valoarea parametrului SR este calculată în mod adaptiv de către program. Utilizatorul are posibilitatea de a specifica în datele de intrare o valoare SRU pentru numărul de stări reţinute. Pentru fiecare pas de timp programul adoptă pentru numărul de stări reţinute valoarea maximă dintre SR şi SRU. În cazul unui număr mic de agregate nu este necesară limitarea numărului de stări generate, SG. Este suficientă limitarea numai a numărului de stări reţinute.

În continuare sunt prezentate succint metodele de filtrare pentru stările reţinute. Aceste metode au rezultat pe baza experienţei practice în utilizarea programului şi sunt necesare şi aplicabile atât pentru exemple de calcul de dimensiuni mici, cât şi pentru exemple de calcul de dimensiuni foarte mari.

1.1. Metoda F2 de filtrare a stărilor reţinute

Prima metodă de filtrare testată (F2) ţine seama în alegerea stărilor care se reţin (SR) atât de numărul de cuante de apă consumate, cât şi de valoarea cheltuielilor. Stările sunt ordonate după cantitatea totală de EHE (numărul total de cuante de EHE) consumată într-un număr de submulţimi (numite în continuare categorii) $T_1, T_2, ..., T_k, ..., T_m$, fiecare categorie fiind caracterizată de un acelaşi număr de cuante de EHE consumată. În cadrul fiecărei categorii T_k se face o ordonare după cheltuieli. Numărul de stări reţinute în cadrul unei categorii de stări T_k, care consumă aceeaşi cantitate de EHE, trebuie să fie de cel puţin una. Pentru varianta de program actuală din cadrul fiecărei categorii T_k sunt reţinute două stări diferite, în ordinea crescătoare a cheltuielilor.

Numărul m de categorii de stări este variabil în funcţie de pasul de timp şi de numărul total de cuante de EHE care trebuie consumate până la sfârşitul perioadei de planificare. În general acest număr creşte până la un anumit pas de timp după care începe să descrească, pentru a se îndeplini condiţia de a se consuma până la sfârşitul perioadei

perioadei de planificare întreaga cantitate de apă. Programul alege în mod automat SR=2·m stări reţinute.

1.2. Metoda F3 de filtrare a stărilor reţinute

A doua metodă de filtrare (F3) testată ţine seama în alegerea stărilor de trei criterii:

- cheltuielile totale asociate stărilor;
- cantitatea de EHE (numărul de cuante de EHE) consumată în strategia care a generat starea respectivă;
- tipul de structură termo al deciziei care genereazâ starea respectivă.

Principiul metodei este următorul: stările generate la un anumit pas de timp sunt ordonate în m categorii $T_1, T_2, ..., T_k, ..., T_m$, după cantitatea totală de EHE (numărul total de cuante de EHE) consumată, fiecare categorie fiind caracterizată de un acelaşi număr de cuante de EHE consumată.

În cadrul fiecărei categorii T_k stările sunt împărţite în familii $T_{k,1}, T_{k,2}, ..., T_{k,j}, ..., T_{k,fk}$, după structurile termo distincte care pot genera stările respective. În final, în cadrul fiecărei familii se face ordonarea stărilor după cheltuielile totale, reţinându-se pentru fiecare familie $T_{k,j}$ starea cu cheltuieli totale minime.

Numărul de stări reţinute după filtrare este egal cu suma tuturor familiilor distincte pentru toate categoriile de consum de EHE. Programul alege în mod automat $SR = \sum_{k=1}^{m} f_k$ stări reţinute.

1.3. Discuţie asupra metodelor de filtrare F2 şi F3

Ambele metode de filtrare au fost implementate şi testate. Dintre cele două metode de filtrare metoda F3 a manifestat o comportare mai bună, în special pentru exemplele de calcul cu un număr mic de grupuri. Metoda F2 poate duce, odată cu creşterea numărului de paşi de timp, la imposibilitatea determinării unei soluţii posibile, deoarece la filtrarea stărilor nu se ţine seama de diferitele tipuri de structuri termo care pot apărea. Comportarea ambelor metode este în funcţie şi de valoarea indicatorului SG. În general, metoda F3 este foarte stabilă şi conduce la rezultate mai bune decât metoda F2. Numărul de cazuri în care metoda de filtrare F2 eşuează este relativ mic şi se produce pentru valori mici ale indicatorului SG. De aceea, atunci când se doreşte un calcul ceva mai rapid este indicată utilizarea metodei de filtrare F2. Se poate obţine creşterea stabilităţii metodei prin mărirea indicatorului SG. Valorile uzuale obţinute prin testare pentru acest indicator sunt de la 300 la 3 000. Evident, cu cât acest indicator are o valoare mai mare cu atât timpul de calcul este mai mare, dar stabilitatea metodei este mai ridicată. Metoda de filtrare F3 este destul de puţin sensibilă la scăderea valorii indicatorului SG. A fost obţinută o bună comportare a algoritmului de calcul şi pentru valori relativ mici ale acestui indicator, de exemplu SG=50.

Utilizatorul are posibilitatea, prin alegerea valorii unui parametru de comandă din datele de intrare, să opteze pentru utilizarea în program a uneia dintre cele două metode.

1.4. Metoda de selecţie F4

Metodele F2 şi F3 de limitare a numărului de stări reţinute combinate cu limitarea numărului de stări generate nu sunt însă suficiente pentru rezolvarea unui caz de dimensiunea parcului de maşini al SEN. Pentru exemplul de calcul considerat (vezi pct. 3), utilizând numărul de structuri (decizii) termo posibile pentru fiecare centrală dat în tabelul 1, rezultă că numărul de structuri (decizii) termo teoretic posibile pentru sistem, pentru un pas de timp este $1{,}35 \cdot 10^{37}$.

Pentru un calculator care ar putea genera şi verifica 600000 de decizii pe oră, numai enumerarea deciziilor pe un pas de timp ar dura $2{,}25 \cdot 10^{31}$ ore, adică $2{,}56 \cdot 10^{27}$ ani.

Este evident că dificultăţile de rezolvare sunt foarte mari. Din analiza datelor pentru acelaşi exemplu rezultă însă o altă dificultate importantă: din cele $1{,}35 \cdot 10^{37}$ structuri termo teoretic posibile numai o mică parte (circa 10^{13}) îndeplinesc restricţiile problemei, fiind soluţii posibile ale problemei. Probabilitatea de a determina o astfel de structură este foarte mică (circa 10^{-24}). Primele teste numerice efectuate cu ajutorul programului au confirmat acest lucru, în sensul că după aproximativ 12 ore de calcul şi generarea a aproximativ 6 000 000 de decizii nu a putut fi găsită nici o decizie posibilă.

În consecinţă, a fost necesară elaborarea şi implementarea unei noi metode de selectare a deciziilor, care să permită obţinerea unor decizii posibile în timp util. Această metodă a fost numită metoda de selecţie F4.

Generarea deciziilor (structurilor termo) pentru întregul sistem se face pornind de la structurile termo ale centralelor (tabelul 1) care îndeplinesc o singură restricţie, şi anume cea referitoare la numărul de grupuri de termoficare în

Tabelul 1

Numărul de structuri (decizii) termo posibile pentru fiecare centrală

Număr centrală	Număr structuri	Număr centrală	Număr structuri	Număr centrală	Număr structuri	Număr centrală	Număr structuri
1	2	13	11	25	3	37	3
2	31	14	3	26	88	38	1
3	120	15	42	27	163	39	1
4	142	16	42	28	5	40	1
5	3	17	8	29	11	41	1
6	7	18	3	30	4	42	3
7	3	19	3	31	22	43	1
8	16	20	4	32	11	44	1
9	7	21	1	33	22	45	2
10	26	22	42	34	1		
11	3	23	3	35	63		
12	3	24	4	36	16		

funcţiune, destinate acoperirii sarcinii termice. Există mai multe posibilităţi de generare a structurii sistemului principial diferite:

a) generarea după o metodă de enumerare ordonată a tuturor combinaţiilor posibile de structuri ale centralelor;

b) generarea de combinaţii, în mod pseudoaleator (metoda Monte-Carlo sau algoritmul genetic);

c) construirea unei decizii posibile, pornind de la o soluţie posibilă cunoscută în pasul de timp anterior.

Metodele din clasa c) sunt cele mai simple şi au o şansă mare de reuşită, dar au un grad de generalitate redus. Metodele din clasa b) dau de asemenea rezultate bune, dar necesită mai multe încercări. Metodele din clasa a) sunt cele mai puţin performante. În cazul unui punct de plecare prost ales obţinerea unei soluţii posibile a problemei poate deveni imposibilă. Dacă în exemplul din tabelul 1 prima structură termo a centralei 1 nu poate genera o soluţie posibilă pentru întregul sistem şi dacă metoda de generare ordonată are în vedere testarea combinaţiilor acestei structuri cu toate combinaţiile posibile ale structurilor celorlalte centrale, se vor obţine $(1{,}35 \cdot 10^{37})/2$ soluţii imposibile, ceea ce duce, evident, la eşecul rezolvării.

Metoda de selecţie F4 face pentru fiecare pas de timp o marcare a structurilor termo ale centralelor care în mod sigur nu pot genera o structură termo posibilă pe sistem. Marcarea se face prin analizarea separată a structurilor termo ale centralelor din punctul de vedere al respectării restricţiilor referitoare la pornirea sau oprirea grupurilor şi a celor referitoare la respectarea reviziilor/reparaţiilor. Deciziile marcate nu participă în continuare la generarea structurii termo a sistemului. Metoda duce la o scădere exponenţială a numărului de decizii ce trebuie luate în considerare, permiţând în continuare utilizarea oricăreia dintre metodele de generare sus-menţionate.

2. Date generale despre program

Programul de calcul este scris în limbajul C şi este realizat într-o versiune compatibilă pe calculatoare din clasa IBM PC. Caracteristicile generale ale programului sunt:

- manevrarea unui număr mare de fişiere de date: pe o perioadă de 52 de paşi de timp sunt utilizate aproximativ 273 fişiere de date de intrare intermediare sau de ieşire (nu simultan deschise);
- dimensiunea mare a memoriei interne folosite de program;
- utilizarea unui spaţiu mare de lucru pe disc, necesitat de fişierele de lucru ale programului.

În faza actuală programul conţine:

- 12 fişiere sursă tip .C;
- 11 fişiere header tip .H, ale utilizatorului;
  - totalizând 24 360 linii de program (sursele .C şi .H);
  - grupate în 79 proceduri.

Fişierele sunt compilate separat, creându-se un singur modul de program executabil PLANIF.EXE.

3.Testarea şi perfecţionarea programului

Pentru testarea programului de calcul destinat rezolvării problemei planificării funcţionării optime a sistemului energetic pe

durata unui an pentru parcul de maşini al SEN s-a folosit un exemplu de calcul cu 45 de centrale, totalizând 157 grupuri.

Curba de sarcină a fost modelată prin şase paliere de putere constantă. Pe fiecare pas de timp s-a presupus că se pot consuma h=0,1,...,5 cuante de energie hidroelectrică (EHE). Pentru fiecare palier al curbei de sarcină s-a considerat că pot apărea q=1,2,3 valori aleatoare ale cererii de putere cu probabilităţile $p_{t,j,1}$=0,25, $p_{t,j,2}$=0,50, $p_{t,j,3}$=0,25, (t=1,2,...,52, j=1,2,...,6). Numărul maxim de cuante de EHE considerat a fost N=145, iar numărul de cuante de EHE care pot apărea aleator N_a=3, cu probabilităţile p_1=0,977, p_2=0,50, p_3=0,023. Au fost rulate şi exemple de calcul cu N_a, luând valori până la 29 de cuante de EHE. S-a considerat că valoarea procentuală a puterii admise pentru sacrificarea consumatorilor este de 10% din valoarea maximă a puterii cerute pe pasul de timp respectiv.

Programul a fost testat pentru exemplul de calcul sus-menţionat pentru un indicator de limitare a numărului de stări generate pe un pas de timp SG=300, 500, 2 000 şi 3 000 (Ex.1, Ex.2, Ex.3, Ex.4), utilizîndu-se metodele de filtrare F3 sau F2 şi metoda de selecţie F4.

Prin modificarea numărului de stări reţinute pe un pas de timp şi a metodei de filtrare se obţin rezultatele prezentate în figurile 2 şi 3. Pentru SG=300 metoda F2 nu a putut rezolva problema.

Din analiza rezultatelor obţinute se pot trage următoarele concluzii:

- soluţia obţinută prin mărirea numărului de stări reţinute nu diferă mult între cele patru cazuri analizate;
- durata de calcul creşte de la 1h 27min (Ex.1) la 4h 1min (Ex.3), respectiv 5h 38 min (Ex.4);
- diferenţa dintre cheltuielile C_{min} şi C_{max} dintre cea mai bună şi cea mai proastă soluţie cunoscută se situează între 6,57% şi 6,91 %, dar poate atinge valori de până la 15,5 % (Ex.4, metoda F2);
- cantitatea de memorie ocupată de program pe discul fix este în cazurile studiate de circa 7-8 Megaocteţi.

Duratele de calcul corespund execuţiei programului pe un calculator PC 486 - 66MHz.

Este important de subliniat că C_{max} reprezintă valorile maxime ale cheltuielilor în care s-a utilizat o metodologie

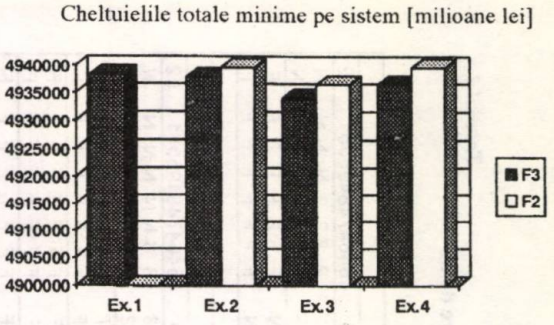


Fig. 2. Variaţia cheltuielilor totale minime pe sistem în funcţie de valoarea indicatorului SG, pentru metodele de filtrare F2 şi F3.

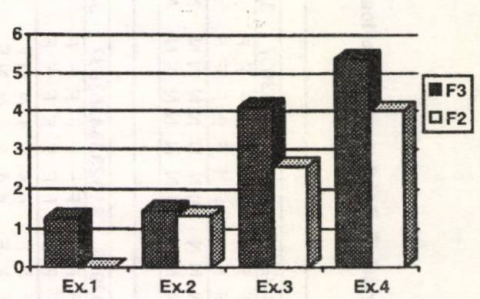


Fig. 3. Variaţia duratei de execuţie în funcţie de valoarea indicatorului SG pentru metodele de filtrare F2 şi F3.

de determinare a cheltuielilor minime. Totuşi, aceste valori ne pot da informaţii importante cu privire la câştigul care se poate obţine prin optimizare. În tabelul 2 este dat pentru centralele 7, 8 şi 9 un extras din rezultatele finale ale programului pentru o perioadă de planificare de un an. Simbolurile F şi N desemnează faptul că grupul se află în funcţiune, respectiv în stare de nefuncţionare în săptămâna respectivă. Cifrele indică numărul de ordine al reviziei/reparaţiei efectuate de către grup în pasul de timp corespunzător. Linia care începe cu litera L indică decizia de funcţionare pentru zilele lucrătoare, iar cea care începe cu litera R pe cea pentru zilele de repaus (sâmbătă şi duminică).

În tabelele 3, 4 şi 5 este dat un extras pentru 10 paşi de timp al rezultatelor finale de sinteză furnizate de către program. De remarcat că valorile de pe coloana sortimentului 6 de combustibil reprezintă cantitatea de combustibil convenţional care trebuie importată pentru acoperirea necesarului de consum intern de energie.

Tabelul 2

Extras din rezultatele finale ale programului pentru centralele 7, 8 şi 9 pentru o perioadă de planificare de un an

Centrala 7							
Săptămâna		1 2 3 4 5 6 7 8 9	10111213141516	17181920212223	24252627282930	31323334353637	38394041424344	45464748495051 52
Grupul 1	L	F F F F F F F F F	F F F F F F F	F F F F F F F	F F F F F F F	F F F F F F F	F F F F F F	2 2 2 2 N N N
	R	F F F F F F F F F	F F F F F F F	F F F F F F F	F F F F F F F	F F F F F F F	F F F F F F	2 2 2 2 N N N
Grupul 2	L	N N NN N N N NN	N N N N N N	N N N N N N	N N N N N N	N N N N N N	N N N N N N	F F F F F F F
	R	N N NN N N N NN	N N N N N N	N N N N N N	N N N N N N	N N N N N N	N N N N N N	F F F F F F F
Centrala 8								
Săptămâna		1 2 3 4 5 6 7 8 9	10111213141516	17181920212223	24252627282930	31323334353637	38394041424344	45464748495051 52
Grupul 1	L	F F F F F F F F F	F F F F F F F	F F F F F F F	F F F F F F F	F F F F F F F	F F F F 3 3	3 3 N N N N N
	R	F F F F F F F F F	F F F F F F F	F F F F F F F	F F F F F F F	F F F F F F F	F F F F 3 3	3 3 N N N N N
Grupul 2	L	F F F F F F F F F	F F F F F F F	F F F F F F F	F F F F F F F	4 4 4 4 N N F	F F F F F F	F F F F F F F
	R	F F F F F F F F F	F F F F F F F	F F F F F F F	F F F F F F F	4 4 4 4 N N F	F F F F F F	F F F F F F F
Grupul 3	L	F F F F F F F F F	F F F F F F F	F F F F F F F	F F F F F F F	F F F F F F 3	3 3 3 N N F F	F F F F F F F
	R	F F F F F F F F F	F F F F F F F	F F F F F F F	F F F F F F F	F F F F F F 3	3 3 3 N N F F	F F F F F F F
Grupul 4	L	F N NN N N N NN	N N N N N N	N N N N N N	N N N N N N	F F F F F F F	F F F F F F F	F F F F F F F
	R	F N NN N N N NN	N N N N N N	N N N N N N	N N N N N N	F F F F F F F	F F F F F F F	F F F F F F F
Grupul 5	L	N N NN N N N NN	N N N N N N	N N N N N N	N N N N N N	N N N N N N	N N N N N N	N N N N N N N
	R	N N NN N N N NN	N N N N N N	N N N N N N	N N N N N N	N N N N N N	N N N N N N	N N N N N N N
Centrala 9								
Săptămâna		1 2 3 4 5 6 7 8 9	10111213141516	17181920212223	24252627282930	31323334353637	38394041424344	45464748495051 52
Grupul 1	L	F F F F F F F F F	F F F F F F F	F F F F F F F	F F F F F F F	F F F F F F F	F F F F F F 3	3 3 3 N N N N
	R	F F F F F F F F F	F F F F F F F	F F F F F F F	F F F F F F F	F F F F F F F	F F F F F F 3	3 3 3 N N N N
Grupul 2	L	F N N N NN N N NN	N N N N N N	N N N N N N	N N N N N N	N N N N N N	N N N N N F	F F F F F F F
	R	F N NN N N N NN	N N N N N N	N N N N N N	N N N N N N	N N N N N N	N N N N N F	F F F F F F F
Grupul 3	L	N N NN N N N NN	N N N N N N	N N N N N N	N N N N N N	N N N N N N	N N N N N N	N N N N N N N
	R	N N NN N N N NN	N N N N N N	N N N N N N	N N N N N N	N N N N N N	N N N N N N	N N N N N N N

Tabelul 3

Rezultate finale de sinteză furnizate de către program pentru primii 10 paşi de timp

Nrpas	NEHE	sum EHE	CHELTUIELI [milioane lei]	CHELTUIELI/pas [milioane lei]
1	1	1	105 033,040	105 033,040
2	3	4	218 972,125	113 939,087
3	5	9	339 871,597	120 899,469
4	5	14	467 435,258	127 563,661
5	2	16	600 927,502	133 492,244
6	5	21	715 707,056	114 779,544
7	2	23	848 717,480	133 010,424
8	5	28	936 678,765	114 961,285
9	5	33	1 076 815,397	113 136,632
10	5	38	1 193 212,772	116 397,375

S-a notat: Nrpas - pasul de timp; NEHE - numărul de cuante de EHE consumate în pasul de timp respectiv; sumEHE - numărul total de cuante de EHE consumate de sistem până la sfârşitul pasului de timp respectiv.

Tabelul 4

Consumuri de combustibili cumulate [mii t_{cc}] pentru primii 10 paşi de timp

Nrpas	Sortul 1	Sortul 2	Sortul 3	Sortul 4	Sortul 5	Sortul 6
1	300,962	229,211	87,063	216,916	131,211	0,000
2	601,173	567,242	165,800	444,154	218,719	0,000
3	921,008	1 009,143	253,416	587,183	304,098	0,000
4	1 279,895	1 487,075	358,508	690,330	387,068	0,000
5	1 656,071	1 934,160	476,514	782,271	513,078	10,852
6	1 990,988	2 346,849	578,316	870,651	589,934	10,852
7	2 363,010	2 795,660	691,880	961,287	718,189	22,944
8	2 695,110	3 211,304	795,770	1 046,717	795,916	22,944
9	3 028,219	3 616,749	891,292	1 137,119	875,087	22,944
10	3 364,125	4 034,785	977,996	1 225,104	953,484	22,944

Tabelul 5

Consumuri de combustibili pe pas de timp [mii t_{cc}] pentru primii 10 paşi de timp

Nrpas	Sortul 1	Sortul 2	Sortul 3	Sortul 4	Sortul 5	Sortul 6	Debitul*) [tcc/h]
1	300,962	229,211	87,063	216,916	131,211	0,000	845,4
2	300,211	338,032	78,736	227,238	87,507	0,000	525,5
3	319,835	441,901	87,617	143,029	85,379	0,000	386,7
4	358,887	477,932	105,092	103,147	82,971	0,000	986,4
5	376,176	447,085	118,006	91,942	126,010	10,852	1 338,2
6	334,917	412,688	101,802	88,380	76,856	0,000	749,3
7	372,022	448,811	113,563	90,636	128,255	12,092	1 338,2
8	332,100	415,644	103,891	85,430	77,727	0,000	717,3
9	333,108	405,445	95,521	90,402	79,171	0,000	749,3
10	335,906	418,036	106,705	87,986	78,397	0,000	749,3

*) Se referă la sortul 3 de combustibil (gazos).

Concluzii

Programul de calcul elaborat permite rezolvarea problemei planificării funcţionării optime a sistemului electroenergetic pe durata unui an, pe calculatoare compatibile cu IBM PC, pentru parcul de maşini al sistemului energetic naţional : 45 de centrale totalizând 157 de grupuri.

Durata de execuţie este în funcţie de limitarea numărului de stări generate pe un pas de timp. Acest parametru este pus la dispoziţia utilizatorului, care îl poate modifica după necesităţi.

La o limitare a acestui parametru se obţin durate de execuţie foarte convenabile, de ordinul orelor.

BIBLIOGRAFIE

[1] Ghenu, S., Bazacliu, G., Dumbravă, V., Miclescu, Th. *Model şi algoritm de rezolvare pentru planificarea funcţionării optime a sistemului energetic pe durata unui an*, In: vol. Al III-lea Simpozion "Optimizarea dezvoltării şi exploatării instalaţiilor energetice", Iaşi, 1991.

[2] Miclescu, Th., Pomârleanu, M., Bazacliu, G., Lia Bejuscu, Dumbravă, V. *Este posibilă o programare optimă a funcţionării SEN ?*, In: Energetica , 42, 1994, Nr. 1-B.

[3] Bazacliu, G., Miclescu, Th., Dumbravă, V. *Planificarea funcţionării optime a sistemului energetic naţional (SEN) pe perioade medii de timp*, Very High Voltage Networks Symposium, Sibiu, Romania, 31 mai -2 iunie 1995.

[4] Pang, C. K., Chen, H. C. *Optimal Short-Term Thermal Unit Commitment*, In: IEEE Transactions on PAS-95, No. 4, pp. 1336-1346, July/August 1976.

[5] Hobbs, W.J., Hermon, G., Warner, S., Sheblé, G.B. *An Enhanced Dynamic Programming Approach for Unit Commitment.* In: IEEE Transactions on PWRS-3, No. 3, pp. 1201-1205, August 1988.

[6] Sydner, W. L., Powell, H. D., Rayburn, J.C., *Dynamic Programming Approach to Unit Commitment.* In: IEEE Transactions on PWRS-2, No. 2, pp. 339-350, May 1987.

[7] Ouyang, Z., Shahidehpour, S. M. *An Intelligent Dynamic Programming for Unit Commitment Application.* In: IEEE Transactions on PWRS-6, No. 3, pp. 1203-1209, August 1991.

[8] Tong, S. K., Shahidehpour, S. M., Ouyang, Z. *A Heuristic Short-Term Unit Commitment.* In: IEEE Transactions on PWRS-6, No. 3, pp. 1210-1216, August 1991.

[9] Su, C. C., Hsu, Y. Y. *Fuzzy Dynamic Programming: An Application to Unit Commitmen.* In: IEEE Transactions on PWRS-6, No. 3, pp. 1231-1237, August 1991.

[10] Sasaki, H., Watanabe, M., Yokoyama, R. *A Solution Method of Unit Commitment by Artificial Neural Networks.* In: IEEE Transactions on PWRS-7, No. 3, pp. 974-981, August 1992.

[11] Zhuang, F., Galiana, F. D. *Unit Commitment by Simulated Annealing.* In: IEEE Transactions on PWRS-5, No. 1, pp. 311-318, February 1990.

[12] Mokhtari, S., Singh, J., Wollenberg B. *A Unit Commitment Expert System.* In: Proceedings of the PICA , pp. 400-405, May 1987.

[13] Kazarlis, S. A., Bakirtzis, A. G., Petridis, V. *A Genetic Algorithm Solution to the Unit Commitment Problem.* In: IEEE Transactions on PWRS-11, No. 1, pp. 83-92, February 1996.

Referent: ing. Rodica Balaurescu - GPEET

(Primit la 23 ai 1996, aceptat la 3 iunie 1996)

Numărul 4, seria A/1996 al revistei Energetica cuprinde următoarele materiale:

DUMITRU CEZAR IONESCU: Masa rotundă "Siguranţa în funcţionare a instalaţiilor energetice" - prezentare

MANFRED STEIN, CHRISTIANA BĂRBULESCU, DAN ANASTASIU, DUMITRU CEZAR IONESCU, PAUL ILIESCU-SALIGNY, VASILE IORDACHE: Unele consideraţii privind noţiunea de risc şi managementul acestuia în instalaţiile energetice

HERMINA ALBERT, DAN PREOŢESCU: Analiza automată a siguranţei în funcţionare a reţelelor electrice

FLORIN MUNTEANU, DUMITRU IVAS, DUMITRU COCA: Analiza probabilistică a dependenţei fiabilitate - consum propriu tehnologic în cazul reţelelor de distribuţie a energiei electrice

MIHAELA DOBRIN: Aspecte specifice privind analiza fiabilităţii instalaţiei de automatizare din centralele electrice pentru sistemul de măsură - reglare şi comandă

DUMITRU CEZAR IONESCU: Generarea automată a modelelor markoviene de fiabilitate cu ajutorul algebrei Kronecker

ANATOLI PAUL ULMEANU: Asupra utilizării reţelelor PETRI şi a proceselor aleatoare semi-Markov în analiza fiabilităţii sistemelor cu mentenanţă programată

MANFRED STEIN, CHRISTIANA BĂRBULESCU, ALEXANDRU MOLNAR: Contribuţii la aplicarea RCM (Realiability Centered Maintenance) în instalaţiile energetice

MANIFESTĂRI TEHNICO-ŞTIINŢIFICE

* * * Congresul VGB 1996

RECENZII

EUGENIU PAVEL: Lane , D. "Italian Electricity Towards Privatisation and Beyond 2000" (Industria energie din Italia spre privatizare şi perspectivele acesteia după anul 2000)

ION IONIŢA: Bejan, A., Tsatsaronis, G., Moran, M. "Thermal Design and Optimization" (Proiectarea şi optimizarea sistemelor termice)

DIN ENERGETICA MONDIALĂ

PROGRAMAREA FUNCŢIONĂRII OPTIMALE A SEN PE PERIOADE MEDII DE TIMP

dr. ing. ALEXANDRU ITOAFĂ ; ing. CRISTINA POPESCU *

O problemă de importanţă deosebită în exploatarea sistemelor energetice este programarea funcţionării acestora, asigurându-se astfel economicitate în producerea, transportul şi distribuţia energiei electrice, precum şi continuitatea alimentării consumatorilor.

Lucrarea tratează problema planificării funcţionării optimale a sistemului energetic naţional pe perioade medii de timp (un an).

Pentru realizarea obiectivelor privind funcţionarea economică s-au elaborat un model matematic, un algoritm şi un program de calcul (PROGOPT), care stabilesc pentru strategia optimă de funcţionare: cantităţile de energie optime ce trebuie produse în centralele hidroelectrice cu lac de acumulare, perioadele de funcţionare pentru fiecare grup din centralele termoelectrice, încărcarea optimă a grupurilor din centralele termoelectrice, necesarul de combustibil pe fiecare centrală pentru producerea energiei electrice şi termice în condiţiile unor cheltuieli minime pe ansamblul sistemului energetic, repartizarea optimă pe centrale a combustibililor disponibili.

An important problem of the power systems operation is their programming in order to ensure an efficient electricity generation, transmission and distribution as well as an uninterrupted supply of the consumers.

The paper focuses on the programming of the optimum NPS system operation on medium -time periods (a year).

In order to achieve the goals of an economical operation a mathematic model, an algorithm and a computation program (PROGOPT) have been developed, through which the optimum operation strategy was established, namely: the optimum quantities of electricity to be generated by the hydroelectric power stations with storage lakes, the operation periods of time for each of the CHP plants the optimum load of the CHP plants generating sets, the necessary fuel supply for each power plant in order to produce electricity and heat at minimum expenses at the level of the whole NPS, the optimum distribution of the existing fuel supply on power stations.

Descriptori: programarea funcţionării, sistem energetic naţional

Introducere

Una dintre problemele de importanţă deosebită care se pun în exploatarea sistemelor energetice este programarea funcţionării acestora, prin care trebuie să se asigure economicitate maximă în producerea, transportul şi distribuţia energiei electrice şi a căldurii, precum şi continuitatea alimentării consumatorilor. Pentru realizarea obiectivelor privind funcţionarea economică sunt necesare programe de calcul, care să asigure gestionarea economică a resurselor şi mijloacelor de producere a energiei electrice şi termice. Un astfel de produs program, intitulat PROGOPT, este prezentat în lucrarea de faţă.

1. Scurtă prezentare a programului de calcul

PROGOPT este un produs software realizat în Microsoft Visual C, pentru calculatoare din clasa PC, şi are ca date de intrare:

- structura instalaţiilor electrice din SEN, condiţiile de funcţionare impuse şi programul de reparaţii prevăzut;
- caracteristicile de consum de combustibil ale grupurilor;
- consumul de pornire al fiecărui grup;
- probabilitatea de avariere a fiecărui grup din centralele termoelectrice ale SEN;
- prognoza energiei hidroelectrice disponibile, pe tipuri de centrale (CHE pe firul apei, CHE cu acumulare zilnică şi CHE cu acumulare săptămânală) pentru diferite grade de asigurare; energia electrică prevăzută să fie produsă în perioada respectivă de CHE cu acumulare sezonieră;
- combustibilul cu care funcţionează fiecare grup;
- combustibilul disponibil (sorturi, cantităţi, putere calorifică, preţ de cost);
- prognoza consumului orar de energie electrică pentru perioada de programare pe total SEN;

* RENEL - Grupul de Studii, Cercetare şi Inginerie - Bucureşti

⇨ prognoza cererilor lunare de energie termică pentru centrale, în perioada analizată.

2. Modelul matematic al programului

2.1. Modelarea curbei de sarcină: variaţia sarcinii într-un pas de timp (săptămână) este descrisă prin două curbe clasate, una pentru zilele lucratoare şi una pentru cele nelucrătoare. Curbele clasate sunt modelate fiecare prin trei paliere. Având în vedere caracterul aleator al cererii de putere, pentru fiecare palier sunt considerate câte trei valori, fiecare cu probabilitatea ei, astfel ca suma probabilităţilor să fie 1. În acest mod, o curbă de sarcină săptămânală este reprezentată prin 18 valori, 9 pentru zilele de lucru şi 9 pentru week-end.

2.2. Modelarea consumului de energie termică: s-a considerat că prognoza consumului de energie termică se face, pentru fiecare centrală în parte, sub formă de cantităţi de căldură lunară, defalcate pe total turbine, SRR, CAF şi CAI.

În figura 1 este ilustrat modul de prezentare a datelor de intrare referitoare la prognoza cererii de căldură pe niveluri de presiuni. În stânga ferestrei este prezentat istoricul stării de funcţionare a grupurilor din centrală, până în momentul începerii planificării (F- funcţionare; Z- rezervă; R - reparaţie; A -aşteptare; I - indisponibil).

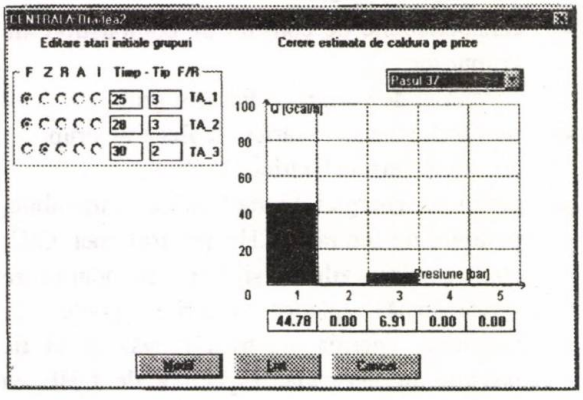


Fig.1. Cererea estimată de caldură, pe niveluri de presiuni, pentru o anumită centrală.

Căldura livrată de la prizele turbinelor este la rândul ei împărţită pe presiuni. Energia termică prognozată este transformată în energie termică orară medie pe săptămână.

2.3. Modelarea centralelor termoelectrice. Centralele termoelectrice sunt caracterizate de:

- structura instalaţiilor;
- caracteristicile de consum ale grupurilor;
- consumul de pornire al fiecărui grup;
- numărul şi tipurile de combustibil utilizate;
- ciclurile de reparaţii şi probabilitatea de avarie între reparaţii;
- limitări tehnice, tehnologice sau de exploatare, ca de exemplu:
  - ⇒ numărul maxim de grupuri care pot fi pornite simultan;
  - ⇒ numărul maxim de grupuri care pot fi simultan în reparaţie;
  - ⇒ numărul minim de grupuri de un anumit tip care trebuie menţinute în funcţiune în centrală;
- puterea electrică a grupurilor de termoficare corespunzătoare sarcinii termice;
- SRR prin care se livrează energia termică;
- capacitatea CAF şi combustibilii folosiţi;
- capacitatea CAI şi combustibilii folosiţi.

Grupurile dintr-o centrală se pot găsi în următoarele stări: funcţiune, reparaţie, oprite (din alte cauze decât reparaţie). În timpul perioadei de funcţionare grupurile au o anumită probabilitate de defectare, care în general poate varia în timp, atât în cadrul intervalului dintre două reparaţii, cât şi între intervalele de funcţionare dintre reparaţii.

Reparaţiile planificate în conformitate cu normativele actuale se consideră de două tipuri: anuale şi capitale. Un ciclu de reparaţii planificate este format din trei reparaţii anuale şi o reparaţie capital, grupurile noi care urmează să intre în funcţiune în timpul perioadei de planificare, precum şi grupurile indisponibile.

Se consideră că grupurile noi care urmează să intre în funcţiune în timpul perioadei de planificare precum şi grupurile indisponibile sunt într-o reparaţie de tip special cu durata egală cu numărul de săptămâni existente între începutul perioadei de planificare şi data prevazută pentru intrarea lor în funcţiune. Pentru reparaţiile de tip special, nu se iau în considerare cheltuielile. După reparaţiile de tip special începe întotdeauna un ciclu normal de reparaţii.

2.4. Modelarea centralelor hidroelectrice: se face ţinând seama de structura energiei productibile a centralelor din SEN, care consta din: energia de bază (pe firul apei) care nu poate fi stocată, energia care poate fi stocată pe diferite perioade, mai mari sau mai mici, în funcţie de

acumulare (zilnică, săptămânală, sezonieră). Fiecare tip de energie (de bază, cu acumulare zilnică, săptămânală, sezonieră) se consideră că este produsă de câte un grup echivalent. După decuparea energiei hidroelectrice din curba de sarcină (procedeu care nu se detaliază aici din lipsă de spaţiu) se obţine o curbă de sarcină, care trebuie acoperită de către centralele termoelectrice.

2.5. Modelarea combustibilului. Combustibilii se împart în două categorii: limitaţi în debit (gaze naturale) şi limitaţi în cantitate (păcură şi cărbune). La cei limitaţi în debit se consideră ca limitarea se referă la debitul orar pe ansamblul SEN. Grupurile care folosesc acest tip de combustibil (fie drept combustibil unic, fie în amestec cu alt combustibil) sunt încărcate până la atingerea debitului maxim admisibil pe ansamblul SEN. În ceea ce priveşte preţul de cost al gazelor, el este unic pe ansamblul SEN, indiferent de locul de consum.

Pentru combustibilii limitaţi în cantitate, în faza actuală se consideră pentru fiecare centrală preţul de cost mediu loco centrală (inclusiv cheltuielile de transport) pe tipuri de combustibil (păcură, cărbune).

2.6. Deciziile şi strategiile de funcţionare: în fiecare pas de timp este posibil să se ia un număr foarte mare de decizii de funcţionare. O decizie sau hotărâre de funcţionare este definită de structura grupurilor termoelectrice considerate în funcţiune şi de cantitatea de energie produsă de centralele hidroelectrice cu acumulare sezonieră.

Succesiunea de decizii de funcţionare de la începutul anului până la un moment dat constituie o strategie a funcţionării sistemului energetic. Problema de optimizare este de a găsi strategia cu cheltuieli de funcţionare minime. Datorită numărului mare de decizii care pot fi luate în fiecare pas de timp, utilizarea metodei de programare dinamică la stabilirea structurii termo necesită un volum mare de memorie şi un timp foarte mare de calcul. Stabilirea structurilor termo din cadrul deciziilor se face pe baza unor indicatori de eficienţă a grupurilor.

2.7. Funcţia obiectiv: o constituie minimizarea cheltuielilor totale de funcţionare pe sistem.

2.8. Restricţiile modelului matematic. Corespund realizării următoarelor obiective :

- acoperirea cererii consumatorilor cu energie termică;
- acoperirea cererii de energie electrică;
- respectarea restricţiilor cu privire la numărul de grupuri în funcţiune;
- respectarea restricţiilor cu privire la numărul de schimbări de stare de funcţionare;
- respectarea restricţiilor cu privire la numărul de reparaţii;
- respectarea restricţiilor de combustibil;
- restricţii referitoare la respectarea limitărilor tehnologice.

3. Algoritmul programului de calcul PROGOPT

În figura 2 este prezentată schema logică a programului PROGOPT. Principalele module ale programului de calcul pentru stabilirea variantei de funcţionare optimă a SEN pentru perioade medii de timp sunt:

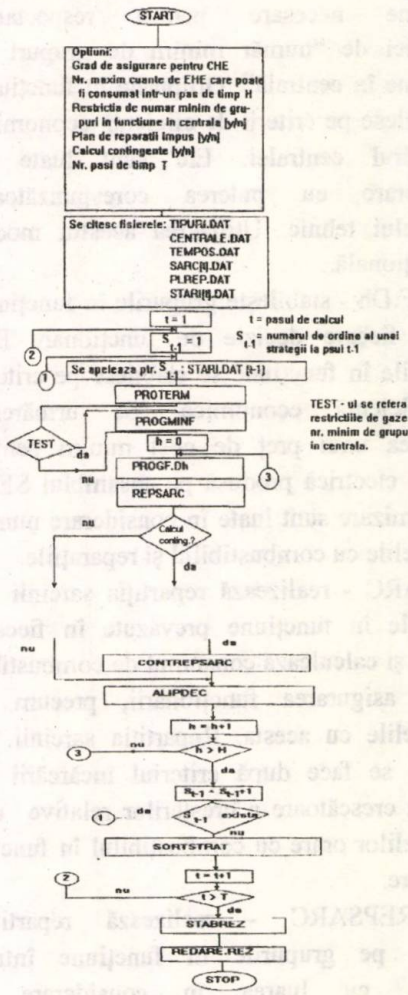


Fig.2. Schema logică a programului PROGOPT.

- PROSARC - stabileşte curbele săptămânale de sarcină electrică, ce intervin în procesul de optimizare a funcţionării centralelor termoelectrice.
- PROTERM - stabileşte grupurile de termoficare ce trebuie să funcţioneze în fiecare pas de timp, pentru satisfacerea cererii de energie termică. Energia termică este repartizată pe prizele reglabile ale turbinelor sau pe SRR şi CAF. Grupurile sunt încărcate la puterea minimă tehnic, corespunzătoare satisfacerii cererii de energie termică şi condiţiilor tehnologice. Se determină puterea electrică produsă în condiţiile satisfacerii cererii de energie termică, consumul de combustibil pentru producţie şi pornire, precum şi cheltuielile cu combustibilul consumat.
- PROGMINF - stabileşte grupurile în funcţiune necesare pentru respectarea restricţiei de "număr minim de grupuri în funcţiune în centrală". Grupurile în funcţiune se stabilesc pe criterii de eficienţă economică în cadrul centralei. Ele sunt luate în considerare cu puterea corespunzătoare minimului tehnic. Utilizarea acestui modul este opţională.
- PROGF.Dh - stabileşte grupurile în funcţiune pentru fiecare decizie de funcţionare D_{ht}. Grupurile în funcţiune se stabilesc pe criterii de eficienţă economică. Se urmăreşte obţinerea unui preţ de cost minim pentru energia electrică produsă pe ansamblul SEN. În optimizare sunt luate în considerare numai cheltuielile cu combustibilul şi reparaţiile.
- REPSARC - realizează repartiţia sarcinii pe grupurile în funcţiune prevăzute în fiecare decizie şi calculează consumul de combustibil pentru asigurarea funcţionării, precum şi cheltuielile cu acesta. Repartiţia sarcinii pe grupuri se face după criteriul încărcării în ordinea crescătoare a creşterilor relative ale cheltuielilor orare cu combustibilul în funcţie de putere.
- CONTREPSARC - realizează repartiţia sarcinii pe grupurile în funcţiune într-o decizie, cu luarea în considerare a indisponibilizării pe rând a câte unui grup din cele considerate în funcţiune (calculul contingenţelor). Consumul de combustibil şi cheltuielile cu acesta sunt stabilite ţinând seama de probabilitatea de avariere a fiecărui grup considerat în funcţiune în decizia respectivă. Modulul este apelat opţional.
- ALIPDEC - face în fiecare pas de timp alipirea deciziilor la strategiile reţinute până la pasul de timp respectiv. Se obţin astfel strategiile pasului de timp (săptămână) curent. Pentru strategiile obţinute se calculează consumul de combustibil (pentru pornire şi funcţionare) şi se stabileşte starea grupurilor pentru pasul următor. În acest scop, pentru grupurile în funcţiune sau rezervă se calculează timpul de funcţionare de la ultima reparaţie, iar pentru grupurile în reparaţie sau care aşteaptă să intre în reparaţie se calculează timpul de reparaţie, respectiv de aşteptare. Se verifică, pentru fiecare strategie obţinută, posibilitatea de consumare, până la sfârşitul paşilor de timp, a întregii cantităţi de energie hidroelectrică şi se reţin numai strategiile care asigură consumarea tuturor cuantelor de energie hidroelectrică.
- SORTSTRAT - se face filtrarea strategiilor reţinute. Strategiile se grupează după numărul de cuante de energie hidroelectrice consumate. Din fiecare grupă se reţine o singură strategie, şi anume aceea cu cele mai mici cheltuieli.
- STABREZ - se calculează şi se reţin, în fiecare pas de timp, toate elementele care caracterizează funcţionarea unui grup, centrală sau grupe de centrale în strategia optimă de funcţionare. Acest modul este de fapt un program de repartiţie a sarcinii termice şi electrice pe centrale şi grupuri, pentru o structură dată de grupuri în funcţiune. Structura este cea corespunzătoare strategiei optime stabilită prin rularea celorlalte module de program.
- REDAREREZ - în cadrul acestui modul se sortează şi se ordonează toate informaţiile care caracterizează strategia optimă de funcţionare, informaţii obţinute prin rularea modulului STABREZ.

Pentru strategia cu cele mai mici cheltuieli se prezintă:

- consumul de combustibil total şi pe sorturi pe fiecare centrală şi pe total SEN;
- numărul de cuante de energie hidroelectrică consumate în fiecare pas de timp;
- graficul de reparaţii;
- grupurile în funcţiune în fiecare pas de timp;
- încărcarea grupurilor cu prize reglabile sau cu contrapresiune pe pas de timp, corespunzătoare încărcării cu energie termică.

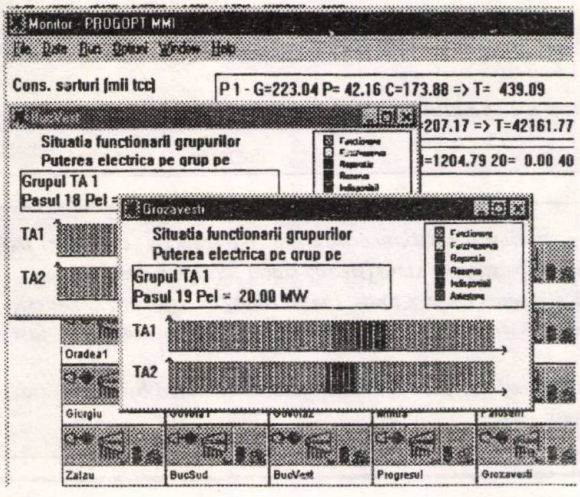


Fig.3. Situaţia funcţionării grupurilor din centrala Grozăveşti.

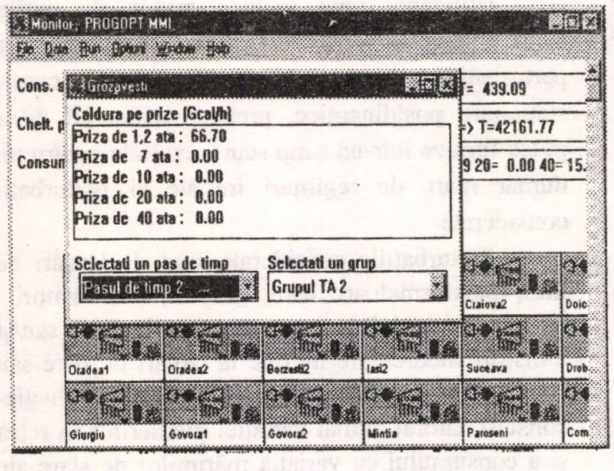


Fig.4. Consumul de căldură pe prize în centrala Grozăveşti.

4. Rezultatele programului de calcul

Programul de calcul PROGOPT are o interfaţă de tip Windows foarte prietenoasă şi uşor de utilizat. Rezultatele programului sunt prezentate într-o formă accesibilă şi sugestivă, prin ferestre de dialog cu multiple facilităţi. Pentru exemplificare, în figurile 3, 4 şi 5 se prezintă datele obţinute pentru o centrală din sistem.

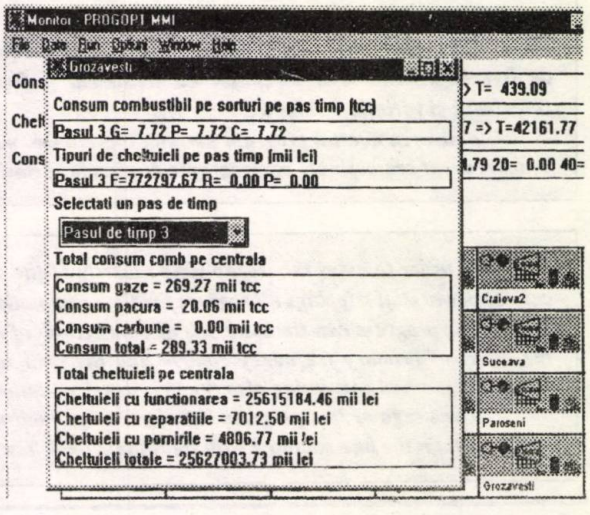


Fig.5. Consumul de combustibil şi cheltuielile din centrala Grozăveşti.

NOTĂ. La elaborarea lucrării au fost folosite următoarele studii nepublicate:

[1] Itoafă Al., Popescu C. *Programarea funcţionării optimale pe perioade medii de timp, faza: Model şi algoritm de calcul*, ICEMENERG, nov.1993.

[2] Itoafa Al., Popescu C. *Programarea funcţionării optimale pe perioade medii de timp, faza: Testarea programului la beneficiar*, ICEMENERG, sept.1995.

[3] Itoafă Al., Popescu C. *Programarea funcţionării optimale pe perioade medii de timp*, Lucrare de sinteză, ICEMENERG, nov.1995.

Referent: conf. dr. ing. Gabriel Bazacliu - Facultatea de Energetică - Universitatea "Politehnica", Bucureşti

(Primit la 14 mai 1996, acceptat la 26 august 1996)

VERIFICAREA SIGURANŢEI ÎN FUNCŢIONARE LA DECLANŞĂRI DE GRUPURI. PROGRAM DE CALCUL AL REGIMULUI POST-DINAMIC

dr.ing. RODICA BALAURESCU *

Pentru verificarea siguranţei în funcţionare cu respectarea criteriului N-1 în cazul declanşării de grupuri a fost elaborat un program de calcul al regimului post-dinamic (staţionar).

Programul modelează declanşarea de elemente de reţea (grupuri, sarcini, linii, noduri), efectul reglajului primar de frecvenţă şi variaţia sarcinilor cu tensiunea şi frecvenţa utilizând o metodă decuplată rapidă modificată, care calculează şi variaţia frecvenţei.

Folosirea acestui program permite o evaluare mai realistă a regimului post-dinamic determinat de declanşări de grupuri decât cea obţinută cu programe de circulaţii clasice.

In order to asses the steady-state security of the system operation (compliance with the N-1 security criterion) in case of power unit trippings a program for the computation of the post-dynamic state (steady-state) has been developeed.

The program can simulate the disconnection of network elements (power units, loads, lines, transformers, nodes), the effect of primary frequency control and the load variation with frequency and voltage, and uses a modified fast decoupled method computing also the frequency variation.

The usage of this program allows a more realistic assement of the post-dynamic state determined by power unit trippings than the one obtained with traditional load-flow programs.

Descriptori: fiabilitate

Introducere

O condiţie de bază în programarea funcţionării sistemului este asigurarea unui grad satisfăcător de siguranţă în funcţionarea cvasistaţionară, cu respectarea criteriului N-1: tensiunile şi circulaţiile în reţea să nu violeze limitele de funcţionare atât în stare normală, cât şi în regimurile post-dinamice determinate de o perturbaţie. Respectarea criteriului N-1 este de asemenea o condiţie pentru funcţionarea în paralel a unui sistem electroenergetic cu interconexiunea europeană UCPTE.

Problema poate fi abordată dinamic, analizând comportarea sistemelor în urma unei perturbaţii cu programe de regimuri tranzitorii adecvate. Această metodă necesită însă un timp mai mare de calcul şi în consecinţă este utilizată pentru un număr mai restrâns de perturbaţii specifice.

Utilizarea unei metode rapide de regim cvasistaţionar, care evaluează consecinţele perturbaţiilor prin estimarea regimurilor cvasistaţionare postdinamice, prezintă avantajul de a putea furniza într-un timp scurt rezultate pentru un număr mare de regimuri iniţiale şi perturbaţii considerate.

Perturbaţiile considerate sunt declanşări de linii, transformatoare, bare, grupuri, consumatori. În cazul calculului contingenţelor de linii sau/şi transformatoare care nu duc la izolări de bare sau zone, apare un dezechilibru în balanţa producţie-consum datorat numai variaţiei pierderilor în reţea şi a consumului cu variaţia mărimilor de stare ale sistemului; acoperirea acestei variaţii prin modificarea producţiei numai în nodul de echilibru şi fără luarea în considerare a variaţiilor de frecvenţă reprezintă o aproximaţie acceptabilă.

Utilizarea unui program clasic de calcul al regimului cvasistaţionar este satisfăcătoare în acest caz, mai ales dacă acesta modelează variaţia sarcinii cu tensiunea.

* Dispecerul Energetic Naţional, Bucureşti

În cazul contingenţelor de grupuri (sau consumatori mari) se produce un dezechilibru semnificativ în balanţa producţie-consum. Este în practica UCPTE de a verifica respectarea criteriului N-1 în regimul cvasistaţionar post-dinamic determinat de declanşarea celui mai mare grup dintr-un sistem după acţionarea reglajului primar de frecvenţă, fără intervenţia reglajului secundar.

Un program clasic de regim cvasistaţionar nu este adecvat pentru acest tip de calcule.

Pentru verificarea siguranţei de funcţionare la declanşarea de grupuri a fost elaborat un program de calcul al regimului cvasistaţionar postdinamic LFCON cu următoarele aspecte specifice:

- utilizează o metodă decuplată rapidă modificată care include şi calculul variaţiei frecvenţei;
- modelează efectul reglajului primar de frecvenţă şi modificarea corespunzătoare a limitelor de reactiv la generatoare;
- modelează variaţia sarcinii cu frecvenţa şi tensiunea;
- pot fi modelate şi acţiuni de dispecer sau automatici .

Deşi destinat în special verificării siguranţei la declanşări de grupuri, programul poate fi folosit pentru orice tip de contingenţă, pentru perturbaţii simple sau multiple.

Programul are aspecte originale legate de simplificările introduse în calculul termenilor Jacobianului, modelarea variaţiei sarcinii şi a limitelor de reactiv la generatoare şi algoritmul calculului iterativ.

1. Model matematic

Pentru fiecare nod trebuie respectate ecuaţiile de bilanţ :

$$Pg - Pc - Pr = 0 \qquad i \in n \qquad (1)$$
$$Qg - Qc - Qr = 0$$

cu respectarea limitelor de putere reactivă în noduri de tip P,V

$$Qg_{min} \le Qg \le Qg_{max}, \quad i \in g1+g2 \qquad (2)$$

Pentru a modela efectul reglajului primar în generatoarele g1 se consideră în (1):

$$Pg = Pg_0 - Pg_n/\sigma \; df \;, \; i \in g1 \text{ generatoare cu reglaj primar} \qquad (3)$$

cu respectarea limitelor de putere activă :

$$Pg_{min} \le Pg \le Pg_{max} \qquad (4)$$

şi variaţie liniară a limitelor de putere reactivă cu puterea activă :

$$Qg_{lim} = Qg_{lim0} + (Pg - Pg_0) / (Pg_{max} - Pg_{min}) (Qg_{lim\,Pmax} - Qg_{lim\,Pmin}) \quad lim=min, max \qquad (5)$$

Pentru a modela variaţia sarcinii cu f, u se consideră în (1) :

$$Pc = Pc_n (1+df\; f_n/f_0)^{aPf} (1-b_{Pu}+b_{Pu}\, u^2) \quad i \in n \qquad (6)$$
$$Qc = Qc_n (1+df\; f_n/f_0)^{aQf} (1-b_{Qu}+b_{Qu}\, u^2)$$

sau

$$Pc = Pc_n (1+a_{Pf} df\; f_n/f_0)\; (1-b_{Pu}+b_{Pu}\, u^2), \quad i \in n \qquad (6')$$
$$Qc = Qc_n (1+a_{Qf} df\; f_n/f_0)\; (1-b_{Qu}+b_{Qu}\, u^2)$$

unde

$$Pc_n = Pc_0/ (1-b_{Pu}+b_{Pu}\, u_0^2) \qquad (7)$$
$$Qc_n = Qc_0/ (1-b_{Qu}+b_{Qu}\, u_0^2)$$

Injecţia de putere în reţea se calculează cu :

$$Pr + j\, Qr = (u\, e^{j\theta})\; (G + jB)^* (u\, e^{j\theta})^* \qquad (8)$$

Variabile : θ $\quad i \in n$ - NEC (rad.)

$u=U/U_n \quad i \in n-(g1+g2)$ (u.r.)

$df=(f-f_0)/f_n$ (u.r.)

Au fost folosite următoarele notaţii :

indici n : nominal; 0 : iniţial;

g1 + g2 noduri declarate iniţial tip P,V; $g3^k$ nod tip P,V în timpul iteraţiei k;

g1 generatoare cu modelarea efectului reglajului primar;

σ -statismul generatorului (u.r.);

NEC : nod de echilibru tip θ,V cu $\theta = 0$.

2. Metodă decuplată rapidă modificată

Aplicând metoda Newton-Raphson la ecuaţiile (1) se obţine un sistem de ecuaţii liniare de forma :

$$\begin{array}{c|ccc} & n\text{-}NEC & NEC & n\text{-}g3^k \\ n\text{-}NEC & H^k & F^k & N^k \\ NEC & & & \\ n\text{-}g3^k & M^k & G^k & L^k \end{array} \times \begin{array}{|c|} \hline \Delta\,\theta^k \\ \hline \Delta\,(df)^k \\ \hline \Delta\,u^k \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline \Delta\,P^k / u^k \\ \hline \\ \hline \Delta Q^k / u^k \\ \hline \end{array} \qquad (9)$$

unde:

$$\Delta P^k = \Delta P\,(\theta^k, u^k, df^k) = (Pg-Pc-Pr)^k \qquad (10)$$
$$\Delta Q^k = \Delta Q\,(\theta^k, u^k, df^k) = (Qg-Qc-Qr)^k$$

$$H^k_{ij} = [1/u_i\, \partial\; (Pc+Pr)_i / \partial\, \theta_j]^k, \; i \in n; \; j \in n\text{-}NEC$$
$$N^k_{ij} = [1/u_i\, \partial\; (Pc+Pr)_i / \partial u_j]^k, \; i \in n; \; j \in n\text{-}g3^k$$
$$M^k_{ij} = [1/u_i\, \partial (Qc+Qr)_i / \partial\, \theta_j]^k, \; i \in n\text{-}g3k; \; j \in n\text{-}NEC$$
$$L^k_{ij} = [1/u_i\, \partial\; (Qc+Qr)_i / \partial\, u_j]^k, \; i,j \in n\text{-}g3^k \qquad (11)$$

$$F^k_i = [1/u_i\, \partial\, (-Pg_i+Pc_i)/\partial\, (df)]^k, \quad i \in g1 \qquad (12)$$
$$F^k_i = [1/u_i\, \partial\, Pc_i / \partial\, (df)]^k, \quad i \in n\text{-}g1$$
$$G^k_{i\text{-}NEC} = [1/u_i\, \partial\, Qc_i / \partial\, (df)]^k, \quad i \in n\text{-}g3k \qquad (13)$$

Pentru obţinerea metodei decuplate rapide s-au considerat următoarele aproximaţii la calculul termenilor Jacobianului :

$$\theta_i-\theta_j \sim 0\ ;\ G_{ij} \sim 0;\ B_{ii} \sim -\Sigma B_{ij}; \qquad (14)$$

$$\partial Pc_i / \partial u_i \sim 0;\ \partial Qc_i / \partial u_i \sim 0;\ \partial Qc_i / \partial(df) \sim 0;$$

$$u_i \sim 1;\ f/f_0 \sim 1.$$

Ca urmare se anulează termenii [N], [M], [G] şi se obţin două seturi de ecuaţii decuplate, cu matrice de convergenţă independente de valorile mărimilor de stare în iteraţia k :

$$\begin{array}{c|c|c|c|c|c|c|c|}
 & \text{n-NEC} & \text{NEC} & & & & & \\
\text{n-NEC} & B' & Fi & \times & \Delta\theta^k & = & \Delta P^k / u^k \\
\text{NEC} & B'_{NEC-i} & & & \Delta(df)^k & & \\
\end{array} \qquad (15)$$

$$\begin{array}{c|c|c|c|c|c|c|}
 & \text{n-g3k} & & & & & \\
\text{n-g3}^k & B'' & \times & \Delta u^k & = & \Delta Q^k / u^k & \\
\end{array} \qquad (16)$$

unde :

$$B'_{ij} = -1/X_{ij} \qquad i, j \in \text{n-NEC} \qquad (17)$$

$$B'_{ii} = \Sigma\, 1/X_{ij} \qquad i \in \text{n-NEC};\ j \in n$$

$$B_{NEC-j} = -1/X_{NEC-j}$$

$$F_i = Pg_n/\sigma_i + a_{Pf}\, Pc_0 \qquad i \in g1; \qquad (18)$$

$$F_i = a_{Pf}\, Pc_0 \qquad i \in \text{n-g1};$$

$$B''_{ij} = -B_{ij} \qquad i, j \in \text{n-g3} \qquad (19)$$

$$B''_{ii} = -B_{ii}$$

$$B_{ij} = \mathrm{Im}\,(Y_{ij})$$

Pentru un şir de iteraţii succesive se calculează micile variaţii ($\Delta\theta^k$, Δu^k , $\Delta(df)^k$) şi variabilele :

$$\theta^{k+1} = \theta^k + \Delta\theta^k \qquad (20)$$

$$u^{k+1} = u^k + \Delta u^k$$

$$df^{k+1} = df^k + \Delta(df)^k$$

Calculul soluţiilor ecuaţiilor liniare se face utilizând matrice factorizate.

La factorizarea matricei [B',F] se consideră că NEC este pe ultima poziţie de eliminare şi se realizează ordonarea optimă a celorlalte noduri ca pentru metoda decuplată clasică .

Submatricea B' (n-NEC, n-NEC) este simetrică şi necesită numai calculul şi memorarea matricei triunghiulare superioare; pentru linia şi coloana nodului NEC se calculează termeni factorizaţi asimetrici.

Dacă rezerva totală de reglaj primar este mai mare decât dezechilibrul de balanţă determinat de perturbaţie, algoritmul are o convergenţă bună utilizând matricea [B', F] factorizată o singură dată la începutul calculului, chiar dacă unele din generatoare îşi epuizează rezerva de reglaj în calculul iterativ.

Dacă rezerva de reglaj primar este mică şi majoritatea generatoarelor îşi epuizează rezerva de reglaj, este necesar să se recalculeze matricea F şi termenii liniei şi coloanei NEC din matricea factorizată pentru a accelera convergenţa.

Matricea B" este simetrică; dimensiunea ei poate varia de la o iteraţie la alta, în funcţie de transformări P,V - P,Q ale nodurilor.

Aplicaţii

Programul a fost folosit pentru analiza siguranţei (N-1) la declanşări de grupuri în SE Roman şi SE interconectate, în cadrul unor studii elaborate pentru funcţionarea în paralel a SE Român cu UCPTE, şi pentru interconectarea simultană a SE Bulgar.

A fost folosit, de asemenea, în cadrul studiului de planificare a funcţionării SEN pentru estimarea unui regim determinat de declanşarea grupului nuclear, înainte de acţionarea reglajului secundar frecvenţă-putere.

În tabelul de mai jos este prezentat calculul iterativ în cazul declanşării unui grup mare, cu rezerva de reglaj primar acoperind circa 80% din deficitul de putere şi modelarea variaţiei sarcinii cu tensiunea şi frecvenţa (a_{Pf}=1,5, a_{Qf}=-0,6, b_{Pu}=0,1, b_{Qu}=0,4). Termenii matricei factorizate din linia şi coloana NEC au fost recalculaţi în cazul atingerii limitei de reglaj la unele generatoare începând din iteraţia 4.

PERTURBAŢIE	Declanşare grup 700 MW Declanşare consum 36,7 MW

Iteraţia	max(ΔQ) [MW]	max. (ΔQ) [MVAr]	Δ(df) [Hz]
0	700	101,8	0
1	- 43,5	38,8	- 0,094
2	14,07	- 4,8	- 0,032
3	10,9	0,7	- 0,025
4	9,1	3,5	- 0,021
5	27,3	4,3	- 0,081
6	8,6	- 0,6	- 0,024
7	4,5	- 0,6	- 0,013
8	2,6	- 0,1	- 0.007
9	1	- 0,1	- 0.003
10	0,4		- 0,001

Regim postdimanic	df	-0,302 Hz
	f	49,698 Hz
	Reglaj primar	+538,3 MW
	Var.Pc(f,u)	-202,7 MW
	Var. Qc(f,u)	-32,2 MVAr
	Var.c.p.t. reţea	+77,7 MW

BIBLIOGRAFIE

[1] Popovic, D.P. *An efficient methodology for steady-state security assesment of power systems.* In: Electrical Power & Energy Systems, Vol 10, No.2 (aprilie 1988), pag.110-116.

[2] Okamura, M ş.a. *A new power model and solution method including load and generator characteristics and effects of system control devices .* In: IEEE Trans. Power Apparatus & Systems,Vol. PAS-94, No3 (mai/iunie 1975), pag.1042-1049.

[3] Calovic, M.S. şi Strezoski, V.C. *Calculation of steady-state load-flows incorporating system control effects and consumer self-regulation characteristics.* In: Electrical Power & Energy Systems, Vol. 2, No.2 (aprilie 1981), pag.65-74.

[4] Potolea, E. *Calculul regimurilor de funcţionare ale sistemelor electroenergetice.* In: Editura Tehnică, Bucureşti, 1977.

[5] Tinney, W.F si Hart, C. *Power flow solution by Newton's Method,* In: IEEE Trans. Power Apparatus & Systems. In: PAS-86, No.11 (noiembrie 1967), pag.1449-1460.

[6] Stott, B. şi Alsac, O. *Fast decoupled load flow.* In: IEEE Trans. Power Apparatus & Systems. Vol. PAS-93, No.3 (mai/iunie1975), pag.859-867.

[7] Constantinescu, J. *Midterm transient processes with Dimo-REI models.* In: Revista Română de Ştiinţă şi Tehnică, vol.28, no.1, 1983.

[8] Dimo,P, Constantinescu, J. ş.a. *Determinarea comportării dinamice a sistemului energetic pe intervale mari de timp, urmare a unor perturbaţii de sistem.* In: Energetica nr. 10-11, 1980.

Referent: dr. ing. Marius Pomârleanu - GSCI, Bucureşti

(Primit la 14 mai 1996, acceptat la 20 mai 1996)

Informaţii

Aspecte mai importante privind planificarea reţelelor electrice de repartiţie

1. Clasificarea reţelelor electrice din punctul de vedere al funcţiunilor pe care le îndeplinesc în cadrul sistemului electroenergetic

Reţelele electrice în cadrul sistemului electroenergetic se împart după funcţiunile de bază: reţele de interconexiuni; reţele de transport; reţele de repartiţie şi reţele de distribuţie.

Dacă definirea funcţiunilor reţelelor electrice de interconexiune, de transport şi de distribuţie este bine precizată, funcţia de repartiţie este diferită de la ţară la ţară, aceasta depinzând de gradul de dezvoltare al fiecărei ţări şi de structura reţelelor de înaltă tensiune.

În general, reţelele de repartiţie sau de subtransport în ţări mai puţin dezvoltate au ca prioritate sarcina de transport, în timp ce în ţările dezvoltate, cu densitate mare de sarcină, au cu prioritate rol de distribuţie. De aceea este şi foarte diversă denumirea acordată reţelelor de rapartiţie din diverse ţări, şi anume: reţea de subtransport, reţea de transport zonal sau reţea de distribuţie primară.

Reţeaua de repartiţie este un fapt intermediar între reţeaua de transport de foarte înaltă tensiune şi reţeaua de distribuţie de medie tensiune. Prin această reţea se asigură transferarea şi repartiţia eficace şi economică a energiei electrice în cazurile în care reţeaua de distribuţie de medie tensiune nu este racordată direct la reţeaua de transport de foarte înaltă tensiune.

Reţeaua de transport este concepută astfel încât să asigure transportul energiei electrice de la o sursă sau zonă excedentară către o zonă de consum. În situaţiile în care reţeaua de transport se găseşte în apropierea unei sarcini concentrate, este oportună o transformare directă către reţeaua de distribuţie locală de medie tensiune.

(continuare în pag. 242)

STABILIREA SCHEMELOR DEBUCLATE DE FUNCŢONARE ÎN REŢELELE DE DISTRIBUŢIE COMPLEXE FOLOSIND METODE EURISTICE

ş.l.ing. VIRGIL DUMBRAVĂ, prof.dr.ing. THEODOR MICLESCU,
conf.dr.ing. GABRIEL BAZACLIU *

Pentru exploatarea reţelelor electrice de distribuţie construite buclat şi care funcţionează debuclat, este necesar să se determine schema de funcţionare optimă dintre toate schemele posibile, atât în regim normal de funcţionare, cât şi în regim de avarie sau pentru reconfigurările datorate evoluţiei consumurilor.

Folosind noţiuni din teoria grafurilor, în lucrare se prezintă două metode de determinare a schemelor debuclate pentru reţelele urbane de distribuţie de medie şi/sau joasă tensiune, ce conţin mai multe surse de alimentare.

Funcţia obiectiv utilizată pentru aprecierea schemelor debuclate exprimă valoarea pierderilor de putere activă în reţea.

Sunt prezentate, de asemenea, rezultatele obţinute cu programele de calcul construite pe baza acestor metode, fiind evaluată eficienţa fiecăreia dintre aceste metode.

For the distribution networks operated with open loop structure, the problem of determining the minimum loss configuration must be solve in fault cases or due to loads changes.

This paper proposes two original graph based methods for determining the configuration with minimum resistive line losses for distribution networks with many source nodes.

Finally, the proposed methods are illustrated using detailed numerical examples, and subsequently tested for efficiency.

Descriptori: reţele electrice de distribuţie, metode euristice

Introducere

Pentru exploatarea reţelelor electrice de distribuţie construite buclat şi care funcţionează debuclat, este necesar să se determine schema de funcţionare optimă dintre toate schemele posibile, atât în regim normal de funcţionare, cât şi în regim de avarie sau pentru reconfigurările datorate evoluţiei consumurilor.

În ultimii ani au fost prezentate diferite metode pentru rezolvarea problemei determinării schemei optime de funcţionare a reţelelor de distribuţie. Aceste rezolvări se bazează pe metodele programării matematice liniare [1] sau neliniare [2], pe folosirea metodelor euristice [3÷7], precum şi a reţelelor neuronale artificiale [8].

Pornind de la algoritmul EURIST prezentat în [9] şi folosind elemente din teoria grafurilor, în acest articol sunt expuse două metode euristice originale de stabilire a schemei debuclate de funcţionare pentru reţele de distribuţie complexe.

Metodele euristice elaborate de autori pentru determinarea schemelor debuclate în cazul reţelelor electrice urbane de distribuţie de medie şi/sau joasă tensiune ce conţin mai multe surse de alimentare, folosesc analogia ce se poate stabili între o *reţea electrică* având **noduri** şi **laturi** şi un *graf neorientat conex* având **vârfuri** şi **muchii**.

1. Modelarea reţelei electrice de distribuţie

Reţeaua electrică de distribuţie va fi modelată prin graful conex şi neorientat asociat ei. Elementele acestui graf sunt:

- *vârfurile*, corespunzând barelor de medie tensiune ale staţiilor de transformare ÎT/MT, barelor punctelor de alimentare şi ale posturilor de transformare MT/JT, precum şi cutiilor de derivaţie la consumatori;
- *muchiile* care leagă între ele aceste vârfuri şi care pot reprezenta linii electrice de medie şi joasă tensiune, precum şi transformatoare MT/JT.

În funcţie de reţeaua considerată, posturile de transformare pot fi considerate surse de alimentare când reţeaua este de joasă tensiune, sau putem avea puncte de alimentare şi posturi de transformare tratate drept consumatori într-o reţea de medie tensiune. Într-o reţea combinată de medie şi joasă tensiune, punctele de alimentare vor fi

* Facultatea de Energetică , Universitatea Politehnica, Bucureşti

tratate drept vârfuri intermediare, iar posturile de transformare MT/JT vor fi tratate drept muchii.

Se vor considera următoarele ipoteze:

- reţeaua electrică de distribuţie funcţionează în regim permanent trifazat simetric;
- elementele reţelei sunt reprezentate prin dipoli cu parametri concentraţi;
- consumatorii sunt reprezentaţi prin curenţi constanţi corespunzători consumului maxim.

Unei scheme debuclate de funcţionare îi corespunde, conform terminologiei din teoria grafurilor, un *arbore parţial,* având vârful rădăcină în nodul în care se află sursa de alimentare a reţelei. Dacă în reţea sunt mai multe surse de alimentare, schemei debuclate de funcţionare îi va corespunde o *pădure,* formată din atâţia arbori parţiali câte surse de alimentare există în reţea.

2. Modelul matematic utilizat

Funcţia obiectiv (F.O.) utilizată exprimă pierderile de putere activă în reţea:

$$[\text{MIN}]p = \sum_{(i,j)\in L} 3R_{(i,j)}I^2_{(i,j)}\alpha_{(i,j)}, \qquad (1)$$

unde:

p reprezintă valoarea pierderilor de putere activă în reţea;

(i,j) - extremităţile unei linii a reţelei;

L - mulţimea liniilor reţelei;

$I_{(i,j)}$ - intensitatea curentului electric pe linia (i,j), corespunzător vârfului de sarcină;

$R_{(i,j)}$ - rezistenţa electrică a liniei (i,j);

$\alpha_{(i,j)}$ - variabilă binară având valoarea 1 sau 0, după cum linia (i,j) este sau nu în funcţiune.

Sunt considerate două categorii de restricţii, şi anume:

A) Restricţii de exploatare

R1: $\sum_{(i,j)\in L} \alpha_{(i,j)} = N - 1$, N fiind numărul nodurilor reţelei;

R2 : între două noduri oarecare ale reţelei trebuie să existe o legatură formată din linii în funcţiune;

R3 : în regim normal să poată fi impusă sau interzisă funcţionarea unor anumite linii.

Restricţia R1 reflectă necesitatea structurii arborescente a schemei de funcţionare, R2 asigură alimentarea tuturor consumatorilor, iar R3 ţine cont de indisponibilităţile din reţea.

B) Restricţii tehnologice

R4 : $I_{(i,j)} \le I_{max(i,j)}$, $\forall (i,j)\in L$;

R5 : $\Delta U_j \le \Delta U_{adm}$, $\forall j \in J$,

unde

ΔU_j reprezintă căderea de tensiune în nodul j;

J - mulţimea nodurilor reţelei.

$I_{max(i,j)}$ - valoarea curentului maxim admisibil pe linia (i,j);

ΔU_{adm} - căderea de tensiune admisibilă.

3. Punerea problemei

Schema optimă de funcţionare debuclată a unei reţele electrice de distribuţie având mai multe surse de alimentare va corespunde unei păduri de arbori parţiali ce se pot forma în graful echivalent reţelei considerate. Calculând pentru fiecare pădure valoarea funcţiei obiectiv (1), va exista o pădure de arbori parţiali pentru care această valoare este minimă. Aceşti arbori parţiali vor reprezenta soluţia optimă căutată, respectiv schema arborescentă optimă.

O pădure este determinată de arborii parţiali ce o compun. Modificarea a cel puţin unuia dintre arbori va duce la obţinerea unei alte păduri. Cercetarea tuturor pădurilor constă, de fapt, în generarea şi apoi studierea tuturor arborilor parţiali care pot exista în graful asociat reţelei electrice.

O asemenea metodă de tratare a problemei, deşi permite obţinerea soluţiei optime, implică prelucrarea unui volum foarte mare de date, iar timpul de calcul necesar pentru rezolvarea unei aplicaţii de dimensiuni medii este de ordinul zecilor de ore.

În astfel de situaţii sunt preferate metodele euristice. Aceste metode divizează procesul de căutare a soluţiei în etape succesive, fiecare etapă fiind rezolvată optimal. Nu se garantează obţinerea soluţiei optime pentru întreaga problemă, dar astfel se pot găsi soluţii suficient de bune într-un interval de timp rezonabil.

Metodele euristice prezentate în continuare determină într-o primă etapă o soluţie iniţială, căreia îi corespunde o pădure iniţială, urmând ca în cea de-a doua etapă să aibă loc îmbunătăţirea soluţiei iniţiale.

4. Obţinerea unei păduri iniţiale

Atunci când într-o reţea electrică există două sau mai multe surse de alimentare, aplicarea algoritmului EURIST descris în [9] va duce la

obţinerea unei păduri de arbori iniţiali. În cadrul pădurii, numărul arborilor va fi egal cu numărul de surse de alimentare din reţea, fiecare sursă devenind rădăcina unui arbore. Construcţia arborilor iniţiali este făcută în paralel, alegând pe rând câte o muchie pentru fiecare arbore. Îmbunătăţirea fiecăruia dintre arborii iniţiali se realizează folosind metoda evolutivă în varianta V2, expusă în [9].

Astfel, pentru reţeaua din figura 1 sunt prezentaţi în figura 2 arborii iniţiali obţinuţi, iar în figura 3 arborii finali. Caracteristicile liniilor, precum şi consumurile în noduri sunt date în tabelele 1, respectiv 2.

Pentru reţeaua din figura 1 avem:

N - numărul nodurilor reţelei = 13;

NS - numărul surselor de alimentare = 3;

L - numărul laturilor reţelei = 24.

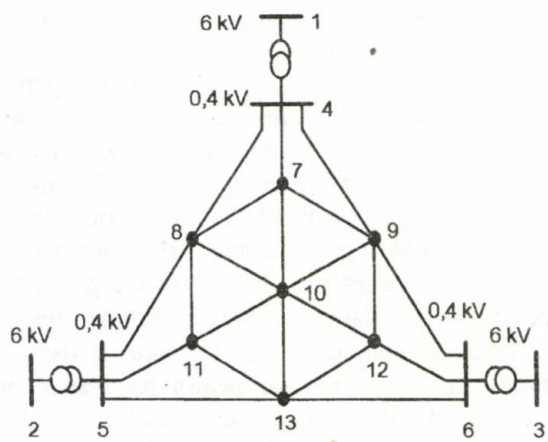


Fig.1. Reţea cu trei surse de alimentare.

După cum se observă, arborii obţinuţi nu sunt echilibraţi din punctul de vedere al numărului de ramuri, cele N-NS ramuri ale pădurii nefiind atribuite în mod egal arborilor. Această situaţie poate apărea datorită următoarelor cauze:

- numărul celor N-NS muchii ce vor forma pădurea iniţială nu este divizibil la numărul arborilor din reţea;

- în procesul construirii arborilor iniţiali, pentru unul sau mai mulţi arbori nu mai există muchii disponibile;

- muchiile disponibile pentru a fi înglobate la un moment dat într-un arbore au deja o extremitate într-un alt arbore.

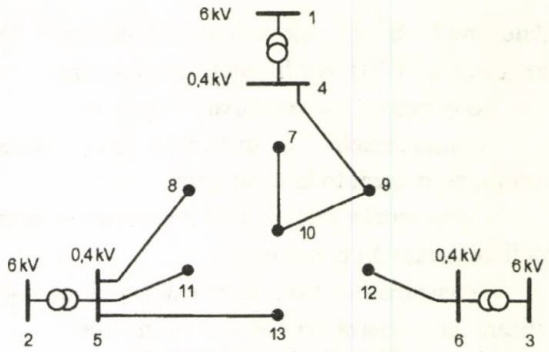


Fig.2. Pădurea arborilor iniţiali.

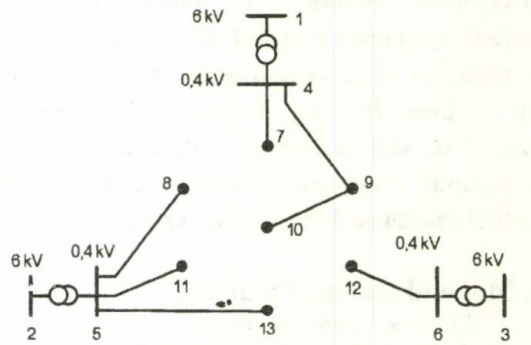


Fig.3. Pădurea arborilor finali.

În figura 4 este prezentată organigrama procesului de construire a arborilor iniţiali. Etapele acestui proces sunt următoarele:

1 - iniţializarea cu valoarea 0 a contorului NR al ramurilor selectate în pădurea iniţială;

2 - iniţializarea cu valoarea 1 a indicelui I al arborelui de construit;

3 - pentru arborele cu numărul I se realizează următoarele operaţii:

3.1. dintre toate muchiile disponibile se alege muchia având costul asociat minim. Dacă arborelui I nu i se adaugă nici o muchie, se continuă cu pasul 4;

3.2. se incrementează contorul NR;

3.3. dacă au fost selectate toate cele N-NS muchii, procesul de construire al pădurii iniţiale se încheie , dacă nu se continuă cu pasul 4;

4 - dacă mai sunt arbori de dezvoltat, se incrementează indicele arborilor I şi se continuă cu pasul 3.

Dacă nu, se revine la pasul 2, încercându-se alipirea câte unei noi muchii la fiecare arbore din cei NS.

Îmbunătăţind pe rând cei NS arbori iniţiali se obţin NS arbori finali. Valoarea pierderilor de putere pentru întreaga reţea va fi dată de suma pierderilor de putere pentru fiecare subreţea arborescentă corespunzătoare câte unui arbore final.

5. Metoda cercetării tuturor pădurilor inițiale posibile (CERT)

Prin modul de construire a arborilor inițiali, are loc o partiționare a vârfurilor grafului între arbori, în funcție de modul (ordinea) în care sunt numerotate vârfurile rădăcină (ordine care determină apoi succesiunea în formarea arborilor). Această partiționare a vârfurilor duce la rândul ei la o distribuție a muchiilor grafului între cei NS arbori inițiali, distribuție din care rezultă și coardele ce pot fi utilizate la îmbunătățirea arborilor inițiali.

Tabelul 1

Caracteristicile laturilor

Latura	Lungimea [m]	Rezistența [mΩ]
1 - 4	0	4,60
2 - 5	0	4,60
3 - 6	0	4,60
4 - 7	30	19,28
4 - 8	34	16,24
4 - 9	35	9,64
5 - 8	28	11,30
5 - 11	24	9,64
5 - 13	30	7,23
6 - 9	40	11,30
6 - 12	34	19,28
6 - 13	24	21,69
7 - 8	26	16,24
7 - 9	30	14,46
7 - 10	38	3,41
8 - 10	36	84,35
8 - 11	42	96,40
9 - 10	32	4,60
9 - 12	28	5,67
10 - 11	33	13,31
10 - 12	30	24,10
10 - 13	50	36,15
11 - 13	70	28,92
12 - 13	36	16,24

Tabelul 2

Consumurile în noduri

Nodul	I [A]
1	0
2	0
3	0
4	0
5	0
6	0
7	28,50
8	62,50
9	30,50
10	27,10
11	25,10
12	46,10
13	32,50

Pentru pădurea inițială din figura 2 sunt prezentate în figura 5, cu linie întreruptă, coardele.

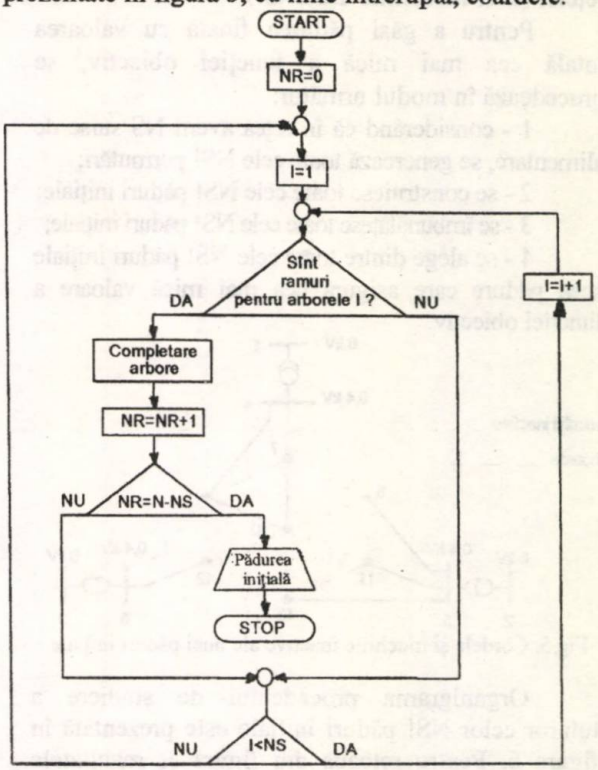


Fig.4. Organizarea procesului de construire a pădurii inițiale.

Din figura 5 se observă că datorită modului în care au fost formați arborii (adăugându-se câte o muchie arborelui de rădăcină 1, apoi celui de rădăcină 2 și apoi celui de rădăcină 3) pot apărea arbori inițiali, care, neavând coarde, nu se pot îmbunătăți. Totodată, se observă că din cele 24 de muchii ale grafului, 10 muchii sunt excluse din procesul de îmbunătățire a pădurii inițiale (și anume muchiile reprezentate punctat), muchii inactive care realizează legătura între arborii inițiali.

Datorită acestor limitări în procesul de căutare a unei păduri cu valoare cât mai bună a funcției obiectiv, a fost căutată o metodă de construire a pădurii inițiale folosind diferite succesiuni ale arborilor (1-2-3, 1-3-2, 2-1-3 etc.), pornind de la presupunerea că pentru moduri diferite de repartizare a vârfurilor grafului în raport cu vârfurile rădăcină se obțin arbori diferiți și deci valori diferite ale funcției obiectiv.

În cazul unei rețele având NS = 3, modurile posibile de ordonare ale arborilor sunt: 1-2-3, 1-3-2, 3-1-2, 3-2-1, 2-3-1 și 2-1-3. Aceste ordonări corespund celor NS! permutări ale mulțimii

MS={1,2,3}, având ca elemente nodurile sursă ale reţelei (deci rădăcinile arborilor).

Pentru a găsi pădurea finală cu valoarea totală cea mai mică a funcţiei obiectiv, se procedează în modul următor:

1 - considerând că în reţea avem NS surse de alimentare, se generează toate cele NS! permutări;

2 - se construiesc toate cele NS! păduri iniţiale;

3 - se îmbunătăţesc toate cele NS! păduri iniţiale;

4 - se alege dintre toate cele NS! păduri iniţiale acea pădure care asigură cea mai mică valoare a funcţiei obiectiv.

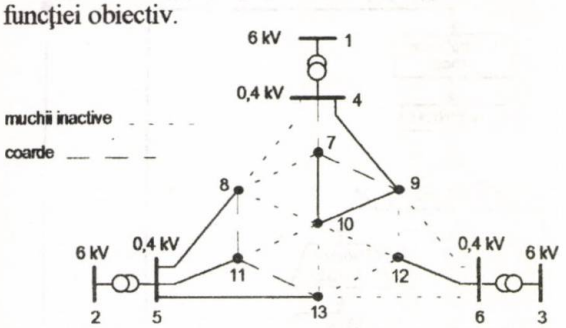


Fig.5. Cordele şi muchiile inactive ale unei păduri iniţiale.

Organigrama procedeului de studiere a tuturor celor NS! păduri iniţiale este prezentată în figura 6. Pentru reţeaua din figura 1, rezultatele obţinute prin aplicarea procedeului descris mai sus sunt arătate în tabelul 3.

Tabelul 3

Rezultatele obţinute prin studierea tuturor celor şase păduri iniţiale

Ordinea vârfurilor rădăcină	Valoarea perderilor [kW]	
	Pădure iniţială	Pădure finală
1-2-3	5,312	5,198
1-3-2	5,312	5,198
3-1-2	5,630	5,252
3-2-1	5,630	5,252
2-3-1	5,557	5,346
2-1-3	5,312	5,198

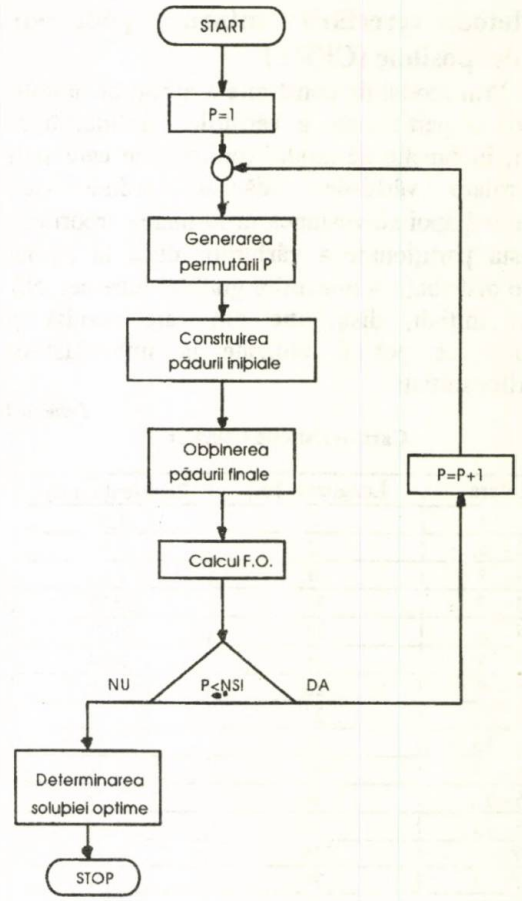
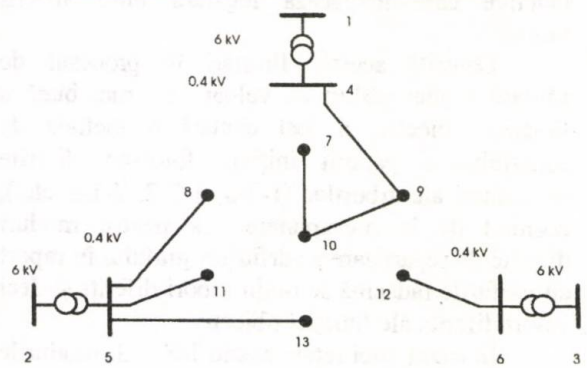


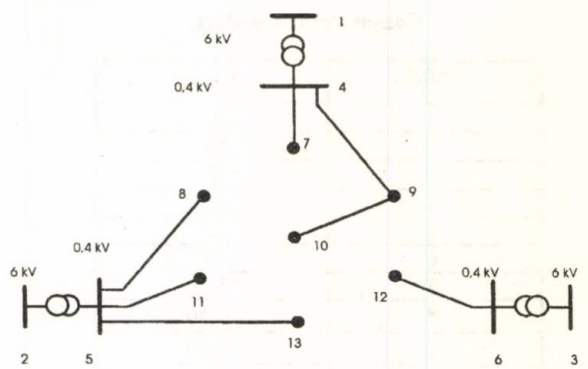
Fig.6. Organizarea metodei CERT pentru studierea tuturor celor NS! păduri iniţiale.

Schemele corespunzătoare pădurilor iniţiale şi finale sunt prezentate în figurile 7, 8 şi 9.

Pentru succesiunile 1-3-2 şi 2-1-3, schemele sunt identice cu cele obţinute în figura 7, iar pentru succesiunea 3-2-1 se obţin aceleaşi scheme ca în figura 8.



Pădurea iniţială



Pădurea finală

Fig.7. Schemele corespunzătoare ordinii 1-2-3.

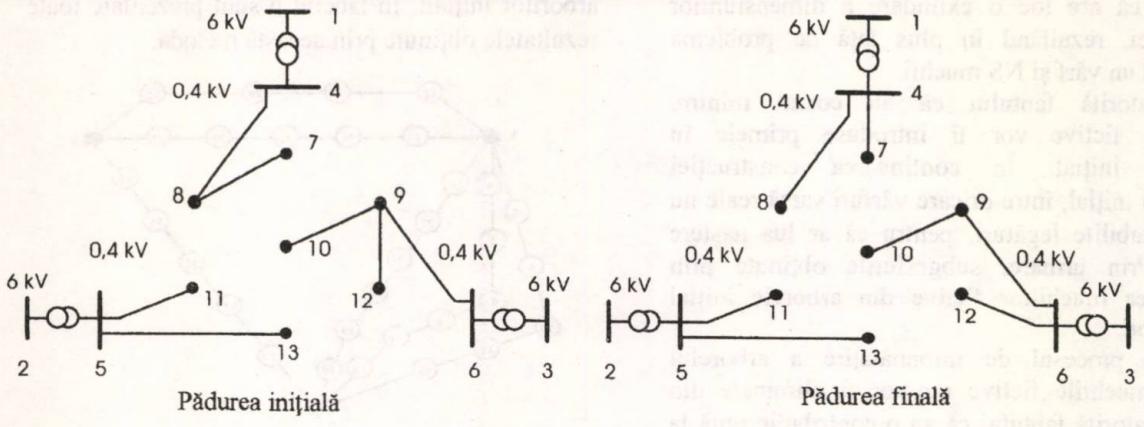


Fig.8. Schemele corespunzătoare ordinii 3-1-2.

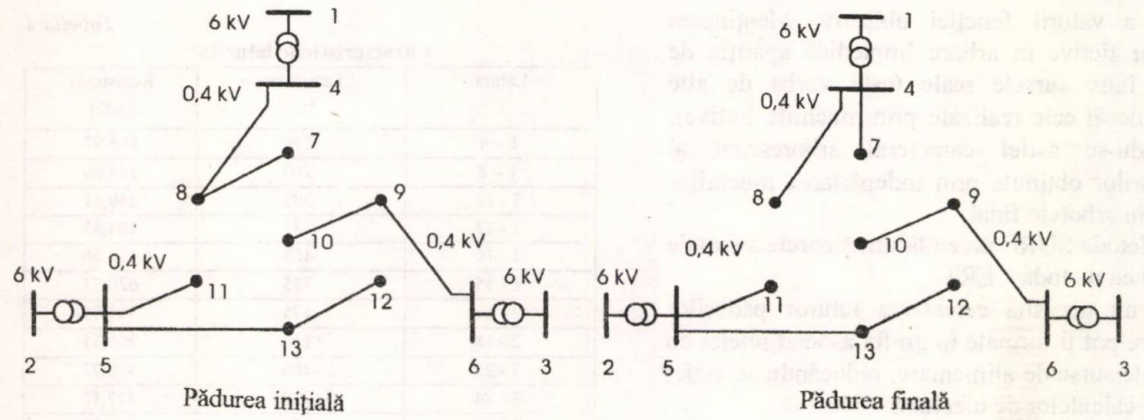


Fig.9. Schemele corespunzătoare ordinii 2-3-1.

După cum se observă din rezultatele prezentate în tabelul 3, există diferențe între soluțiile finale obținute corespunzător diferitelor moduri de ordonare ale vârfurilor rădăcină.

De asemenea, din figurile 8 și 9 se observă că în procesul de căutare a pădurilor finale au fost folosite și o parte din muchiile inactive din figura 5.

6. Metoda sursei fictive (SURF)

Pentru evitarea cercetării tuturor celor NS! păduri posibile a fost elaborată următoarea metodă:

1 - se introduce în graful asociat rețelei un vârf sursă fictiv, legat prin muchii fictive de cost nul de vârfurile sursă reale;

2 - se determină, folosind algoritmul EURIST V2 descris în [9], arborele cu pierderi reduse;

3 - se elimină muchiile fictive din arborele obținut la pasul 2, rezultând o pădure cu NS arbori.

În figura 10 este prezentat un arbore obținut prin aplicarea pașilor 1 și 2 de mai sus. SF reprezintă vârful sursă fictiv, iar S1, S2 și S3 reprezintă vârfurile sursă reale. Cu linie întreruptă au fost desenate muchiile fictive de cost nul. Se

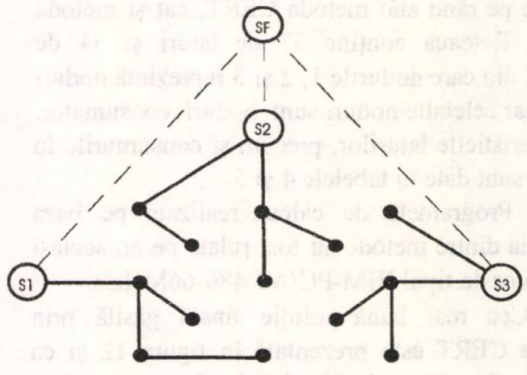


Fig.10. Arbore cu muchii fictive.

observă că are loc o extindere a dimensiunilor problemei, rezultând în plus faţă de problema originală un vârf şi NS muchii.

Datorită faptului că au costul minim, muchiile fictive vor fi introduse primele în arborele iniţial. În continuarea construcţiei arborelui iniţial, între oricare vârfuri sursă reale nu pot fi stabilite legături, pentru că ar lua naştere bucle. Prin urmare, subgrafurile obţinute prin eliminarea muchiilor fictive din arborele iniţial sunt arbori.

În procesul de îmbunătăţire a arborelui iniţial, muchiile fictive nu vor fi eliminate din arbore datorită faptului că au o contribuţie nulă la valoarea funcţiei obiectiv. Eliminarea unei muchii fictive în favoarea oricarei coarde ar duce la o creştere a valorii funcţiei obiectiv. Menţinerea muchiilor fictive în arbore împiedică apariţia de legături între sursele reale (este vorba de alte legături decât cele realizate prin muchiile fictive), asigurându-se astfel caracterul arborescent al subgrafurilor obţinute prin îndepărtarea muchiilor fictive din arborele final.

Metoda SURF prezintă următoarele avantaje în raport cu metoda CERT:

- nu necesită cercetarea tuturor pădurilor iniţiale ce pot fi formate în graful asociat reţelei cu mai multe surse de alimentare, reducându-se astfel volumul calculelor de efectuat;
- datorită faptului că prin metoda sursei fictive nu rezultă muchii inactive pentru a asigura demarcarea între arbori, rămân disponibile coarde prin care să poată fi încercată obţinerea unei soluţii finale cât mai bune.

7. Eficienţa metodelor euristice pentru determinarea schemelor arborescente în reţele cu mai multe surse de alimentare

Pentru studiul reţelei din figura 11 au fost folosite pe rând atât metoda CERT, cât şi metoda SURF. Reţeaua conţine 37 de laturi şi 34 de noduri, din care nodurile 1, 2 şi 3 reprezintă noduri sursă, iar celelalte noduri sunt noduri consumator. Caracteristicile laturilor, precum şi consumurile în noduri sunt date în tabelele 4 şi 5.

Programele de calcul realizate pe baza fiecăreia dintre metode au fost rulate pe un acelaşi calculator de tipul IBM-PC/AT 486-66MHz.

Cea mai bună soluţie finală găsită prin metoda CERT este prezentată în figura 12 şi ea corespunde succesiunii 1-2-3 în construirea arborilor iniţiali. În tabelul 6 sunt prezentate toate rezultatele obţinute prin această metodă.

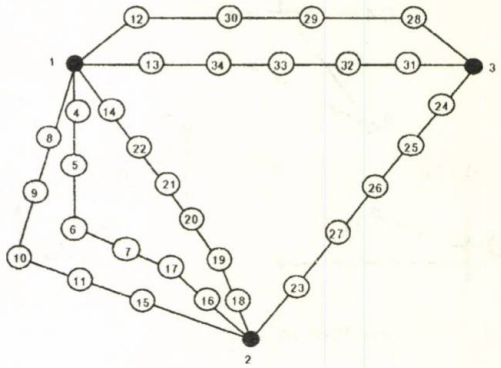


Fig.11. Reţea buclată cu trei surse de alimentare.

Tabelul 4

Caracteristicile laturilor

Latura	Lungimea [m]	Rezistenta [mΩ]
1 - 4	290	505,97
1 - 8	560	134,96
1 - 12	205	249,41
1 - 13	435	104,83
1 - 14	465	112,06
2 - 15	325	620,72
2 - 16	175	353,55
2 - 18	110	206,51
2 - 23	165	390,77
3 - 24	320	377,12
3 - 28	200	248,20
3 - 31	395	195,19
4 - 5	150	228,95
5 - 6	295	244,87
6 - 7	780	238,68
7 - 17	380	116,28
8 - 9	2425	584,43
9 - 10	650	156,65
10 - 11	1500	361,50
11 - 15	1460	283,24
12 - 30	190	345,79
13 - 34	650	156,65
14 - 22	395	195,19
16 - 17	410	125,46
18 - 19	280	267,48
19 - 20	360	286,76
20 - 21	195	247,00
21 - 22	385	192,79
23 - 27	235	156,64
24 - 25	640	154,24
25 - 26	325	78,32
26 - 27	325	78,32
28 - 29	210	50,61
29 - 30	360	86,76
31 - 32	215	51,81
32 - 33	220	53,02
33 - 34	175	42,17

Tabelul 5

Consumurile în noduri

Nodul	I [A]
1	0
2	0
3	0
4	55,85
5	33,33
6	15,50
7	21,54
8	13,00
9	8,00
10	9,00
11	9,00
12	9,78
13	9,78
14	21,65
15	33,79
16	8,93
17	23,13
18	6,82
19	8,16
20	9,40
21	16,57
22	15,72
23	11,58
24	20,20
25	16,89
26	26,25
27	51,79
28	17,14
29	25,33
30	15,56
31	12,46
32	15,80
33	35,14
34	27,04

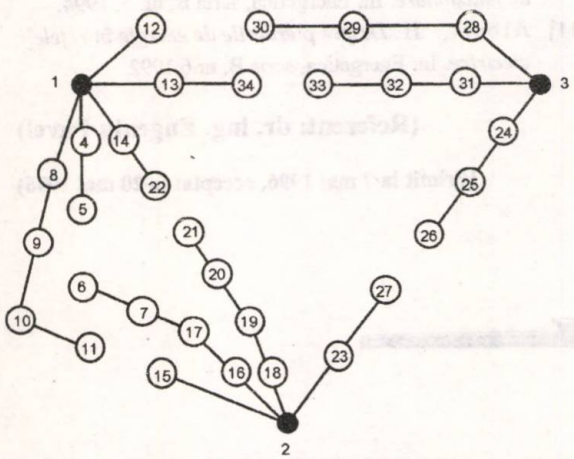


Fig.12. Cea mai bună soluţie finală obţinută prin cercetarea tuturor pădurilor iniţiale.

Datorită faptului că pentru arborii iniţiali construiţi nu există coarde în reţeaua studiată, arborii iniţiali nu au cum să fie îmbunătăţiţi. Prin urmare, în tabelul 6 valoarea funcţiei obiectiv pentru pădurile iniţiale şi finale este aceeaşi.

Tabelul 6

Rezultatele obţinute prin cercetarea tuturor pădurilor iniţiale

Ordinea vârfurilor rădăcină	Valoarea pierderilor [kW]	
	Pădure iniţială	Pădure finală
1-2-3	45,601	45,601
1-3-2	55,455	55,455
3-1-2	57,480	57,480
3-2-1	57,701	57,701
2-3-1	47,626	47,626
2-1-3	57,912	57,912

În figura 13 este prezentată reţeaua de studiu pe care a fost figurată o sursă fictivă în vârful 35, iar muchiile fictive 1-35, 2-35 si 3-35 sunt desenate cu linie întreruptă.

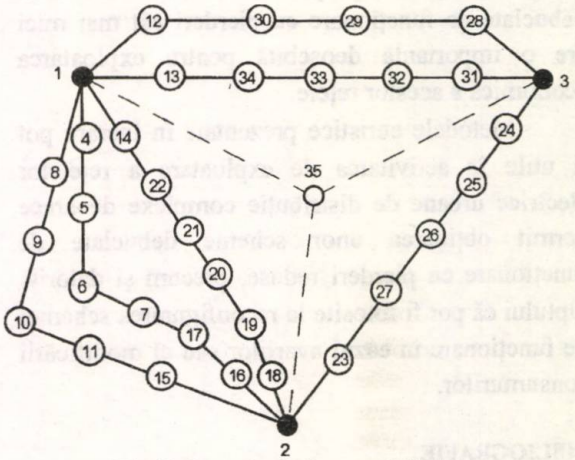


Fig.13. Reţea buclată cu sursă fictivă.

Prin aplicarea metodei SURF a fost obţinută schema arborescentă finală prezentată în figura 14, valoarea pierderilor de putere activă fiind de 43,945 kW. Prin înlăturarea muchiilor fictive din figura 14 se obţin cele trei scheme arborescente căutate.

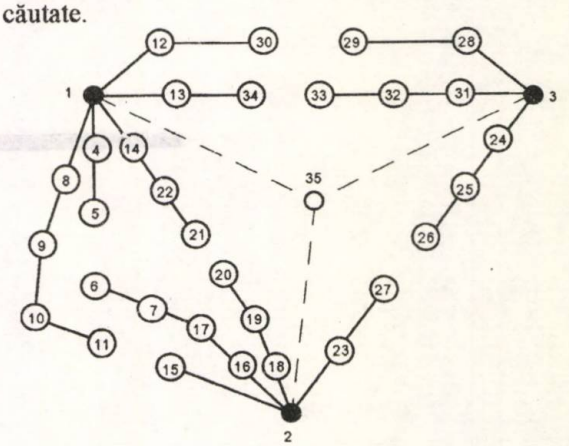


Fig.14. Schema arborescentă finală.

Față de cea mai bună soluție găsită prin metoda CERT, soluția obținută prin metoda SURF a asigurat o reducere a pierderilor de putere cu 3,64% în cazul aplicației prezentate. Timpul de calcul necesar rezolvării aplicației a fost de aproximativ 2 s pentru ambele metode.

Concluzii

Deoarece rețelele electrice de distribuție de medie și joasă tensiune reprezintă aproape 85% din totalul rețelelor de transport și distribuție din România [10], precum și datorită faptului că pierderile în aceste rețele reprezintă aproximativ 37% din totalul pierderilor în rețelele sistemului energetic național [11], determinarea schemelor debuclate de funcționare cu pierderi cât mai mici are o importanță deosebită pentru exploatarea economică a acestor rețele.

Metodele euristice prezentate în lucrare pot fi utile în activitatea de exploatare a rețelelor electrice urbane de distribuție complexe deoarece permit obținerea unor scheme debuclate de funcționare cu pierderi reduse, precum și datorită faptului că pot fi folosite la reconfigurarea schemei de funcționare în cazul avariilor sau al modificării consumurilor.

BIBLIOGRAFIE

[1] Glamocanin, V. *Optimal loss reduction of distribution networks.* In: IEEE Transactions on Power Systems, vol. 5, no.3, 1990.

[2] Aoki, K., Ichimori, T. Kanezachi, M. *Normal state optimal load allocation in distribution systems.* In: IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 2, no.1, 1987.

[3] Taylor, T., Lubkeman, D. *Implementation of heuristic strategies for distribution feeder reconfiguration.* In: IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 5, no.1, 1990.

[4] Goswami, S.K., Basu, S.K. *A new algorithm for the reconfiguration of distribution feeders for loss minimization.* In: IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 7, no.3, 1992.

[5] Cherkaoui, R., Germond, A.J. *Structure optimal du schéma d'exploitation d'un réseau électrique de distribution.* In: Energetica, seria B, nr. 4, 1994.

[6] Peponis, G.J., Papadopoulos, M.P., Hatziargyriou, N.D. *Distribution network reconfiguration to minimize resistive line losses.* In: IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 10, no.3, 1995.

[7] Borozan, V., Rajicié, D., Ackovski, R. *Improved method for loss minimization in distribution networks.* In: IEEE Transactions on Power Systems, vol. 10, no.3, 1995.

[8] Kim, H., Ko, Y., Jung, K.H. *Artificial neural-network based feeder reconfiguration for loss reduction in distribution systems,* In: IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 8, no.3, 1993.

[9] Dumbravă, V., Miclescu, Th., Bazacliu, G. *Determinarea schemei debuclate de funcționare pentru rețelele electrice urbane de distribuție.* In: Energetica, seria B, nr. 4, 1995

[10] Conecini, I. *Rețele electrice de distribuție. Scheme de funcționare.* In: Energetica, seria B, nr. 5, 1994.

[11] Albert, H. *Despre pierderile de energie în rețelele electrice.* In: Energetica, seria B, nr.6,1992.

(Referent: dr. ing. Eugeniu Pavel)

(Primit la 7 mai 1996, acceptat la 20 mai 1996)

PUNCTE DE VEDERE PRIVIND CONDIŢIILE DE FUNDAMENTARE ŞI DIMENSIONARE A REŢELELOR INTERNE ALE SEN

dr.ing. ANCA POPESCU, ing. MANFRED STEIN, ing. DAN ANASTASIU *

Lucrarea prezintă unele puncte de vedere privind principiile care trebuie luate în considerare la alegerea soluţiilor de dezvoltare a reţelelor electrice interne ale sistemului electroenergetic naţional.

Se fac referiri la condiţiile de siguranţă care pot determina selectarea soluţiilor în funcţie de structura reţelei, funcţiunea şi importanţa acesteia.

The article presents several points of view regarding the principles to be considered whEn selecting the electric network development solutions of the National Power System.

References are made to the reliability conditions which can influence the solution selection in terms of the network structure, operation and importance.

Descriptori: reţele electrice de distribuţie, criterii de dimensionare

Introducere

Deşi în ritmuri care pot diferi în funcţie de numeroşi parametri, de regulă şi conjuncturali, se va putea conta pe o permanentă creştere a necesităţilor de energie electrică. Este de aşteptat deci, ca, odată cu creşterea capacităţilor de producere a energiei, să aibă loc şi creşterea corespunzătoare a capacităţii de vehiculare a energiei prin reţelele de transport şi prin cele de alimentare a cosumatorilor cu energie electrică.

În activitatea de planificare a dezvoltării reţelelor electrice, în general, dar şi în selectarea soluţiilor celor mai adecvate pentru anumite instalaţii componente (linii, staţii), se impune ,cel puţin pentru anumite niveluri de reţele, stabilirea unei concepţii care să corespundă şi să fie acceptată de acele foruri cărora le revine luarea deciziei de aprobare a investiţiei.

În referatul prezentat se urmăreşte evidenţierea unora dintre aspectele de importanţă, care pot constitui elemente necesare pentru stabilirea unei concepţii unitare în acest domeniu.

Unul dintre cele mai importante elemente care intervin în stabilirea unei asemenea concepţii este desigur condiţia de siguranţă care caracterizează îndeplinirea funcţiei pentru care se realizează investiţia respectivă. Din acest motiv, se va acorda o mai mare dezvoltare aspectelor legate de acest domeniu, care concură în procesul de luare a deciziilor.

1. Consideraţii privind utilizarea criteriului "n-l"

Condiţia de dimensionare conformă cu criteriul "n-l" are semnificaţii foarte diferite în funcţie de o serie de factori şi, de aceea, utilizarea generalizată a acestui criteriu, fără particularizări în funcţie de o serie de condiţii specifice, cum ar fi structurile de reţea, importanţa acestora, funcţia pe care o îndeplinesc etc. nu este practic posibilă.

În cele ce urmează, se vor evidenţia unele aspecte din acest domeniu, exprimându-se şi unele propuneri.

1.1. Dependenţa de structura schemelor

Este evident că realizarea condiţiei "n-l" este posibilă într-o reţea având diferite structuri.

Astfel, în figura 1 (*a* şi *b*), sunt prezentate două structuri de reţea între o zonă excedentară şi una deficitară, amândouă respectând criteriul "n-1",dar care, aşa cum se va arăta, pot diferi în mod esenţial din punctul de vedere al

* Institutul de Studii şi Proiectări Energetice Bucureşti - Departamentul Sisteme Energetice, Bucureşti

performanţelor de siguranţă a transportului puterii dinspre zona excedentară spre cea deficitară.

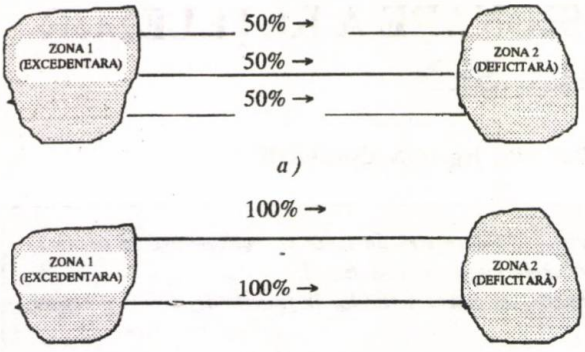


Fig.1

Dacă, pentru simplificarea calculului, se admite că probabilităţile de funcţionare a liniilor sunt aceleaşi, indiferent de capacitatea lor de transport, şi egale cu "p", iar intensităţile de defectare egale cu "λ", atunci,

☞ **pentru structura din figura 1 *a*,**

probabilitatea Q_1, de nesatisfacere a condiţiilor de transport va fi:

$$Q_1 = 1-P_1 = 3pq^2 + q^3, \qquad (1)$$

iar numărul mediu de treceri într-o stare de nesatisfacere a condiţiilor de transport, în intervalul de timp T, va fi:

$$N_1 = 3p^2q.2.\cdot\lambda T; \qquad (2)$$

☞ **pentru structura din figura 1*b*:**

$$Q_2 = 1-P_2 = q^2 \qquad (3)$$

respectiv:

$$N_2 = 2.pq.\lambda T. \qquad (4)$$

Se observă imediat că:

$$Q_1 = (1-P_1) > Q_2 = (1-P_2), \qquad (5)$$

deci, probabilitatea de insucces privind realizarea transportului de putere în cazul structurii din figura 1 *a* **este mai mare** decât în cazul structurii din figura 1 *b*, deşi ambele structuri satisfac condiţia "n-1".

Raportul între aceste două probabilităţi va fi:

$$Q_1/Q_2 = 3p + q, \qquad (6)$$

deci considerabil mai mare decât unu (întrucât, de regulă, probabilităţile "p" ale elementelor care compun structurile analizate au valori foarte apropiate de 1, iar $q \approx 0$), iar raportul între numărul mediu de treceri într-o stare necorespunzătoare a transportului de putere va fi, de asemenea, considerabil mai mare în structura din figura 1 *a*: $N_1/N_2 = 3.p$ (de regulă foarte apropiat de valoarea trei).

Se observă, deci, influenţa deosebită pe care o pot avea diferitele structuri de reţea asupra siguranţei în alimentarea zonelor deficitare, chiar în cazul în care soluţiile satisfac aceeaşi condiţie de dimensionare ("n-1"). Astfel, raportul de circa 3 al numărului de defecte este deosebit de concludent din acest punct de vedere.

Deosebiri foarte importante pot să apară însă şi în funcţie de tipul elementelor de reţea care concură la satisfacerea condiţiei "n-1". Astfel, de exemplu, pot apărea diferenţe mari ale indicatorilor de siguranţă, între o soluţie în care condiţia respectivă este realizată prin existenţa a două autotransformatoare cu o capacitate de transfer de putere de 100%, sau este realizată prin două linii aeriene, fiecare având tot 100% capacitate de transport.

Din cele arătate, se poate conchide că evaluarea probabilistică a condiţiilor de siguranţă realizate în diferitele soluţii posibile de satisfacere a condiţiei sus-amintite, devine, în numeroase situaţii, necesară, putându-se, astfel, obţine informaţii suplimentare deosebit de utile, cum ar fi, de exemplu, oportunitatea sau necesitatea, ca, în cazul citat al transferului de putere prin autotransformatoare, să se realizeze o reducere considerabilă a duratelor de indisponibilitate de la durate de reparaţie la durate de înlocuire, prin prevederea, într-o zonă apropiată, a unui echipament de rezervă. Asemenea necesităţi pot influenţa şi calculele economice de selectare a soluţiei optimale.

1.2. Dependenţa de funcţia îndeplinită

Funcţiile principale ale unei reţele sunt:

a) transportul puterii din zone excedentare spre zone deficitare;

b) evacuarea puterii din centralele electrice;

c) alimentarea unor centre de consum (industriale, urbane sau mixte).

După cum va rezulta din cele expuse în continuare, condiţiile de severitate în dimensionarea acestor tipuri de reţele pot diferi considerabil între funcţiile de mai sus, în primul

rând din cauza consecinţelor, uneori foarte diferite, care se produc în cazul depăşirii condiţiei de dimensionare "n-1". Din această cauză şi criteriile de utilizare (de acceptare) ale acestei condiţii deterministe de dimensionare pot diferi într-o măsură mai mare sau mai mică.

Funcţia a)

În acest caz, trebuie făcută distincţia între reţele de transport spre o zonă deficitară şi reţelele de distribuţie (acestea din urmă se încadrează mai bine în tipul de funcţiuni de la punctul c şi, în consecinţă, vor fi tratate la punctul respectiv).

Specificul unor zone de consum constă în faptul că, datorită heterogenităţii consumatorilor din zonă şi, în multe cazuri, din cauza regimului de funcţionare al unor centrale care s-ar afla, eventual, în zonă, consecinţele unor perturbări în desfăşurarea transportului sunt greu de definit, dar aceste consecinţe sunt, de regulă, foarte importante, atît sub aspectul daunelor şi **unor efecte deosebite de ordin social**, produse prin întreruperi sau limitări ale consumului, cît şi sub aspectul unor perturbări în funcţionarea unor centrale din zonă, fapt care poate duce la o amplificare a consecinţelor şi care, in extremis, se pot extinde şi în afara zonei respective. De aceea, depăşirea criteriului "n-1", în cazul reţelelor de legătură între zone excedentare şi deficitare, poate determina daune importante, dificil de evaluat.

Din aceste motive, se poate concluziona că, pentru reţelele care îndeplinesc funcţia de la punctul a), trebuie urmărită **întotdeauna respectarea criteriului "n-1" şi, totodată, verificată valoarea riscului de depăşire a capacităţii de transport în regimul cel mai defavorabil "n-1", asociat structurii de reţea date. Această valoare nu trebuie să depăşească anumite limite, care pot fi stabilite în funcţie de importanţa reţelei sau a zonei deficitare**.

Deşi stabilirea unor valori limită necesită investigaţii mai amănunţite, se poate aprecia, cu titlu **orientativ**, că aceste limite nu trebuie să depăşească valoarea de 0,0001÷ 0,0002.

Riscul respectiv poate fi evaluat cu utilizarea relaţiilor binomiale de tipul celor prezentate mai sus (1 şi 2).

Astfel, ţinând seama de de cele arătate mai sus, selectarea soluţiei optime, în cazul funcţiunii a), se va face pe baza următoarelor considerente:

- soluţia trebuie să fie **cea mai avantajoasă, din punct de vedere economic, dintre toate soluţiile care, fiecare, asigură condiţia "n-1"**. Deci fundamentarea necesităţii de realizare a condiţiei "n-1" nu trebuie să facă obiectul unor calcule economice justificative, această condiţie nefiind supusă unor discuţii asupra oportunităţii sale;

-soluţia trebuie să asigure **încadrarea într-o valoare maximă prescrisă (normată) pentru riscul de depăşire a condiţiei "n-1"**.

Funcţia b)

Cazul dimensionării reţelelor de evacuare dintr-o centrală electrică prezintă aspecte mult diferite faţă de cel precedent, în special din următoarele motive:

- duratele de expunere la evenimente care perturbă evacuarea puterii sunt, în general, considerabil mai reduse decât în cazul precedent, aspect foarte important, mai ales în cazurile de analiză a condiţiilor de evacuare a puterii din centralele electrice de "vârf";
- consecinţele, în special cele de natură economică, sunt considerabil mai reduse.

Într-adevăr, duratele de expunere a reţelei de transport la perturbaţii care determină reduceri în capacitatea de evacuare a puterii, depind de structura puterii instalate şi de tipul centralei (de "vârf" sau de "bază").

În primul caz, cel al *centralelor de vârf*, aceste durate sunt de ordinul a 1000 - 2500 ore/an, de funcţionare la puteri apropiate de cea instalată.

În al doilea caz, cel al *centralelor de bază*, duratele de expunere a reţelelor de evacuare depind de numărul grupurilor instalate în centrale şi de capacitatea lor de a realiza puterea nominală.

De exemplu, o centrală de 1200 MW, echipată cu două grupuri de 600 MW, având o disponibilitate a grupurilor de 90%, va funcţiona cu puterea instalată pe durata unui an T_f = 7096 ore. O altă centrală, cu aceeaşi putere instalată, dar

în şase grupuri de 200 MW şi având aceeaşi disponibilitate, va funcţiona cu puterea instalată numai 4655 ore, ceea ce demonstrează diferenţele mari ale nivelurilor de expunere ale reţelelor de evacuare a puterii, în funcţie de structura puterii instalate. Ţinând seama de acest aspect, riscul de perturbare a procesului de evacuare a puterii este considerabil mai redus faţă de riscul de perturbare a alimentării unor zone deficitare. Pe de altă parte, daunele specifice (calculate pe MWh), produse prin nealimentarea consumatorilor dintr-o zonă deficitară (cazul a), pot ajunge de 20 - 50 de ori mai mari decât cele produse prin perturbarea reţelei de evacuare a puterii dintr-o centrală (dacă defectele din aceste reţele nu determină evenimente care pot produce avarii extinse cu antrenarea unor consecinţe corespunzătoare).

Astfel, ţinând seama de cele de mai sus, se exprimă opinia că, în cazul funcţiunii b), spre deosebire de cazul precedent, este necesară şi o analiză economică, de fundamentare a oportunităţii de realizare a criteriului "n-1". Această analiză, în anumite situaţii, ar putea demonstra că efortul pentru realizarea criteriului "n-1" nu este justificat.

Se precizează că aceste consideraţii nu au în vedere cazul reţelelor de evacuare a puterii produse în centralele nuclearoelectrice.

Funcţia c)

Consideraţiile şi concluziile prezentate anterior pentru funcţia a) sunt, în general, valabile şi pentru această funcţie, dacă se analizează reţele de alimentare a unor microzone, centre urbane importante sau centre mixte (urbane şi industriale).

Dacă analiza se referă la stabilirea soluţiilor pentru alimentarea unor consumatori concentraţi, de regulă industriali, trebuie renunţat la urmărirea realizării criteriului "n-1", soluţia de alimentare făcând obiectul exclusiv al unor considerente de natură tehnico-economică sau al opţiunii unui consumator (considerat conştient de implicaţiile economice ale diferitelor soluţii posibile).

1.3. Dependenţa de importanţa reţelei analizate

Se exprimă opinia că, indiferent de funcţiile a, b, c) de mai sus, criteriul "n-1" îşi găseşte aplicarea exclusiv în domeniul reţelelor de transport şi repartiţie zonală, deci de 400 kV, 220 kV şi, cel mult, de 110 kV.

Pentru reţelele de medie tensiune, toate soluţiile se aleg fie numai pe baza unor criterii tehnico-economice, fie urmărind asigurarea condiţiilor de continuitate a alimentării, pe baza unor indicatori normaţi (eventual garantaţi, cum sunt, de exemplu, numărul şi durata maximă a întreruperilor în alimentare).

Este important de reţinut că, în cazul în care vor exista valori limită prescrise (garantate) pentru indicatorii menţionaţi, trebuie avut în vedere că, în special pentru zonele deficitare, pe lângă indicatorul de fiabilitate (riscul - probabilitatea de nealimentare) menţionat la funcţia a), va apărea necesitatea de a evalua şi numărul maxim admis de treceri în stări care depăşesc criteriul "n-1" şi care, implicit, sunt de natură să afecteze simultan continuitatea în alimentare a unor grupuri de consumatori din aceste zone.

Concluzii

S-a considerat necesar să se evidenţieze necesitatea stabilirii unor criterii şi principii unitare pentru analiza soluţiilor de dezvoltare a reţelelor electrice interne.

Aceste criterii trebuie să fie acceptate şi însuşite ca atare de toţi factorii de decizie care concură la promovarea investiţiilor în acest domeniu, în vederea eliminării unor puncte de vedere divergente privind modul de justificare a necesităţii şi oportunităţii acestora.

Lucrarea şi-a propus să evidenţieze numai câteva dintre aspectele care pot servi scopului de mai sus, făcând totodată şi unele propuneri de principiu, dar se consideră necesar ca unele dintre aspectele evidenţiate să justifice elaborarea unor studii destinate aprofundării acestor aspecte.

În acest sens, se consideră că, având în vedere scopul final al funcţionării oricărui sistem energetic, acela de a asigura condiţii corespunzătoare de alimentare a consumatorilor, se impune, ca şi în alte ţări, stabilirea unor limite maximale garantate pentru numărul şi durata întreruperilor în alimentarea consumatorilor, mai ales în condiţiile unui monopol al producerii şi distribuţiei energiei electrice, fapt care implică şi o legiferare corespunzătoare.

Referent: ing. Lia Bejuscu - GSCI

(Primit la 7 mai 1996, acceptat la 20 mai 1996) ❐

CU PRIVIRE LA OPORTUNITATEA ECONOMICĂ A UTILIZĂRII SEPARATOARELOR DE SECŢIONARE TELECOMANDATE

ş.l.ing. MIRCEA SCRIPCARIU *, şl.ing DANIELA SCRIPCARIU *

Se analizează oportunitatea economică a utilizării separatoarelor telecomandate în reţelele electrice de medie tensiune din ţara noastră. Principalii factori de influenţă sunt încărcările şi lungimile distribuitoarelor şi calitatea serviciului exprimată prin timpul până la detectarea şi separarea unei avarii şi paguba de nealimentare cu energie electrică. Rezultatele obţinute confirmă oportunitatea economică a introducerii separatoarelor telecomandate şi în ţara noastră.

Economic opportunity of using telecontrolled disconnectors in medium voltage networks from our country is analysed. The main influence factors are the load and the length of the lines and the service quality represented by the time for detection and separation of a fault and the outage costs. The obtained results confirm the economic opportunity of using telecontrolled disconnectors in our country, too.

Descriptori: reţele electrice de distribuţie, separatoare de secţionare telecomandate, oportunitate economică.

1. Scopul lucrării

Articolul îşi propune:

– analiza condiţiilor în care devine economică utilizarea separatoarelor de secţionare telecomandate în reţelele de distribuţie din ţara noastră;

– determinarea numărului acestor separatoare, atunci când folosirea lor este justificată economic.

2. Avantajele intercalării unor separatoare de secţionare telecomandate

Îmbunătăţirea calităţii alimentării consumatorilor este una dintre preocupările majore ale furnizorilor de energie electrică. Din acest punct de vedere, consumatorii rurali alimentaţi din reţelele aeriene sunt cei mai afectaţi datorită numeroaselor întreruperi şi dificultăţii în separarea zonelor defecte şi în restabilirea alimentării celorlalţi consumatori racordaţi la reţeaua respectivă.

Una dintre cele mai uzuale şi cunoscute metode de reducere a consecinţelor unor avarii în reţelele rurale de medie tensiune (MT) este dispunerea de-a lungul axului liniilor aeriene a separatoarelor de secţionare. Dacă aceste separatoare sunt telecomandate, apar o serie de avantaje, cum ar fi:

- reducerea timpului de căutare a defectelor (datorită manevrelor automate), deci reducerea cheltuielilor de intervenţie aferente;
- reducerea cheltuielilor pentru exploatarea liniilor electrice aeriene de MT, prin economii de carburant, care este utilizat de cele mai multe ori în soluţiile clasice, pentru a asigura deplasarea echipelor de lucru la localizarea şi separarea defectului.
- reducerea considerabilă a daunelor de nealimentare datorită scăderii timpului de întrerupere a alimentării, în cazul producerii unor avarii pe distribuitorul aerian de energie electrică (este vorba de timpul de localizare şi de separare a defectului).

De altfel, eficienţa economică a utilizării separatoarelor telecomandate este confirmată şi de folosirea pe scară largă a acestora în ţări cu sisteme

* Facultatea de Energetică, Universitatea "Politehnica", Bucureşti

energetice performante, cum ar fi SUA, Anglia, Franţa etc.

Prin urmare, vom studia oportunitatea economică a introducerii separatoarelor telecomandate (ST) în reţelele electrice de distribuţie din ţara noastră, în condiţiile în care în România aceste echipamente nu se află încă în fabricaţie de serie. Problema se pune în mod similar pentru reţelele electrice noi sau cele existente, intervenind doar modificări minore în exprimarea costurilor de investiţie în cadrul modelului matematic de analiză.

3. Oportunitatea economică a utilizării separatoarelor telecomandate (ST)

Vom utiliza criteriul economic *minimul cheltuielilor totale actualizate* (*CTA*) pentru linia de medie tensiune, cu şi fără considerarea intercalării separatoarelor de secţionare. Expresia generală de calcul este:

$$CTA = CI + C_{ex} + CPW + D \quad (1),$$

în care:

CI - cheltuielile de investiţie în linia electrică şi în separatoarele de secţionare,

C_{ex} - cheltuielile actualizate de exploatare aferente,

CPW - costul actualizat al pierderilor de putere şi energie în linia electrică,

D - daunele actualizate de nealimentare cu energie electrică.

Condiţiile în care se justifică economic folosirea separatoarelor telecomandate se pot determina cu ajutorul diferenţelor de *CTA* pentru situaţia folosirii separatoarelor clasice şi cea a folosirii separatoarelor telecomandate. Prin urmare, dacă:

$$\Delta CTA = CTA_{SC} - CTA_{ST} \quad (2),$$

cu

CTA_{SC} - cheltuielile totale actualizate aferente distribuitorului cu separatoare de secţionare clasice,

CTA_{ST} - cheltuielile totale actualizate aferente distribuitorului cu separatoare de secţionare telecomandate,

atunci condiţiile ce le vom determina vor conduce la distingerea a două situaţii:

- pentru $\Delta CTA \geq 0$ este eficientă economic folosirea separatoarelor telecomandate şi
- pentru $\Delta CTA < 0$ este eficientă economic folosirea separatoarelor clasice.

Reţelele noastre de distribuţie au configuraţii diverse şi sunt adeseori puternic ramificate, iar lungimile totale ale unor distribuitoare depăşesc în unele cazuri 100 km. Am considerat global lungimea L a distribuitorului de MT, inclusiv derivaţiile sale, în următoarele ipoteze:

- distribuitorul de MT este caracterizat prin lungimea totală L şi sarcina maximă de durată S_M,
- distribuitorul funcţionează radial,
- din motive de simplificare a calculelor, se neglijează reducerea cheltuielilor de exploatare datorată economiei de carburant,
- calculele au fost făcute în $ SUA.

Cu aceste ipoteze şi ţinând seama că pierderile de putere şi energie sunt practic aceleaşi în cele două situaţii analizate, avem:

$$\Delta CTA = n \cdot (C_{SC} - C_{ST}) \cdot \frac{T_t}{T_{tsn}} + n_{defMT} \cdot L \cdot S_M \cdot d_{sp} \cdot \Delta t_{id} \cdot T_t \quad (3),$$

în care:

n - numărul de separatoare de secţionare,

C_{SC} - costul unui separator clasic [$],

C_{ST} - costul unui separator telecomandat [$],

n_{defMT} - numărul de defecte pe km şi an pentru o linie de MT [defecte/km şi an],

L - lungimea totală a distribuitorului, inclusiv derivaţiile sale [km],

S_M - sarcina maximă de durată tranzitată prin distribuitor [kVA],

d_{sp} - dauna specifică de nealimentare [lei/kVAh],

Δt_{id} - diferenţa dintre duratele până la izolarea unui defect pentru un distribuitor cu SC şi unul cu ST [h/defect],

T_t - durată pentru calculul costurilor în sistem actualizat corespunzătoare perioadei de studiu;

T_{tsn} - durată pentru calculul costurilor în sistem actualizat corespunzătoare perioadei de utilizare normală.

4. Câteva rezultate

Am comparat utilizarea SC românești cu utilizarea ST tip ESR fabricate de Reyrolle Switchgear (Rolls-Royce, Anglia) [5]. Am urmărit stabilirea condițiilor în care este oportună economic folosirea separatoarelor telecomandate față de a celor clasice, pentru diverse distribuitoare de MT (diverse perechi S_M, L). În cazul unui distribuitor dat, pentru principalii parametri care intervin în relația (3) am considerat domenii de variație:

- $d_{sp} = c_w \div 20\ c_w$ (în care c_w este costul energiei electrice la MT),
- $\Delta t_{id} = 1 \div 10\ h$.

Considerăm că rezultatele pot fi interpretate sugestiv cu ajutorul unor reprezentări grafice. Propunem trei tipuri de grafice:

- familii de drepte de tipul $n(d_{sp})$, cu Δt_{id} parametru,
- familii de drepte de tipul $n(\Delta t_{id})$, cu d_{sp} parametru,
- familii de hiperbole de tipul $L(S_M)$, cu n parametru.

În cazul unui distribuitor dat (L, S_M), în domeniul de sub fiecare dreaptă se justifică economic utilizarea ST, iar domeniul de deasupra dreptei respective corespunde utilizării economice a SC. Cele două familii de drepte pot avea interpretări ușor diferite ca mod de exprimare:

- pentru familia $n(d_{sp})$ având Δt_{id} drept parametru, avem posibilitatea să determinăm tipul și numărul de separatoare telecomandate de secționare în funcție de d_{sp} pe care furnizorul de energie este dispus să o atribuie pentru întreruperile în alimentarea cu energie (a se vedea fig.1a);
- pentru familia $n(\Delta t_{id})$ având d_{sp} drept parametru, tipul și numărul de separatoare telecomandate de secționare se determină în funcție de economia de timp estimată pentru izolarea defectului cu ST față de SC (a se vedea fig.1b).

Pentru hiperbolele de tipul $L(S_M)$ se constată că pentru o anumită calitate a serviciului prestat de furnizorul de energie electrică și cuantificată prin Δt_{id} și d_{sp}, se pot determina gamele de variație pentru S_M și L ale unui distribuitor de medie tensiune pe care se justifică economic montarea unui anumit număr de separatoare telecomandate (a se vedea fig.1c). Spre exemplu, pentru $\Delta t_{id}=1\ h$ și $d_{sp}=c_w$, dacă un distribuitor are $S_M=2\ MVA$ și $L>14$ km, atunci este eficient economic să se utilizeze un singur separator telecomandat.

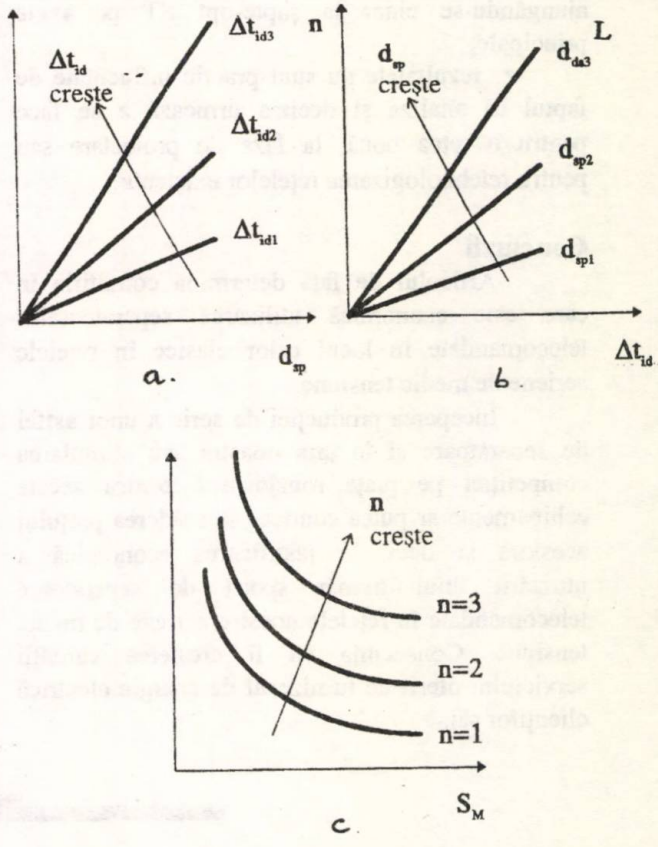


Fig.1. Reprezentări grafice calitative privind deter-minarea numărului și tipului de separatoare care sunt optime economic a se monta pe liniile electrice aeriene de MT.

Principalele rezultate ale studiului se pot sintetiza astfel:

- înlocuirea separatoarelor clasice de secționare de pe distribuitoarele din rețelele electrice de MT cu separatoare telecomandate nu este justificată economic în orice condiții;
- pentru distribuitoarele aeriene de MT cu lungimi economice ($L < 25 \div 40\ km$) [1] și încărcări economice ($S_M = 3 \div 4\ MVA$), de regulă este economic să se monteze unul-două ST pe axele principale;
- în aceleași condiții de tranzit, dacă furnizorul consideră oportună creșterea calității serviciului, devine economică utilizarea a cel puțin

trei-patru ST; de exemplu, în ipoteza dublării d_{sp} sau a Δt_{id} rezultă economică şi dublarea numărului de ST pe axul de MT caracterizat de aceeaşi pereche S_M, L;

• pentru distribuitoarele foarte "stufoase " din reţelele aeriene de 20 kV şi încărcări relativ mari ($S_M > 4$ *MVA*), devine economic să se utilizeze cel puţin patru ST, pentru cazuri extreme ajungându-se chiar la şapte-opt ST pe axele principale;

• rezultatele nu sunt practic influenţate de faptul că analiza şi decizia urmează a se face pentru o reţea nouă, la faza de proiectare sau pentru retehnologizarea reţelelor existente.

Concluzii

Articolul de faţă determină condiţiile în care este economică utilizarea separatoarelor telecomandate în locul celor clasice în reţelele aeriene de medie tensiune.

Începerea producţiei de serie a unor astfel de separatoare şi în ţara noastră sau stimularea competiţiei pe piaţa românească pentru aceste echipamente ar putea conduce la scăderea preţului acestora şi deci, la justificarea economică a utilizării unui număr sporit de separatoare telecomandate în reţelele noastre aeriene de medie tensiune. Consecinţa va fi creşterea calităţii serviciului oferit de furnizorul de energie electrică clienţilor săi.

De asemenea, precizăm că am extins deja analizele la:

• determinarea poziţiei optime a separatoarelor telecomandate rezultate necesare economic a se intercala pe distribuitoarele de MT,

• determinarea tipului şi numărului separatoarelor de secţionare pentru regimurile de funcţionare cu alimentare de la două capete ale liniilor electrice.

BIBLIOGRAFIE

[1] Buhuş, P., Comănescu, Gh., Scripcariu, M. *Tendinţe rentabile în evoluţia reţelelor electrice aeriene pentru distribuţia rurală la medie şi joasă tensiune.* Universitatea Politehnica din Bucureşti, Facultatea de Energetică, Bucureşti, 1992.

[2] Buhuş, P., Comănescu, Gh. *Pentru un schimb de păreri privind retehnologizarea distribuţiei româneşti de energie electrică.* RENEL-DGTDEE şi Universitatea "Politehnica" din Bucureşti, iulie 1991.

[3] RENEL. *PE 013/94. Normativ privind metodele şi elementele de calcul al siguranţei în funcţionare a instalaţiilor energetice.* Bucureşti, ISPE, 1994.

[4] RENEL. *PE 011/82. Normativ privind calculul comparativ tehnico-economic la instalaţiile de producere, transport şi distribuţie de energie electrică şi termică.* Bucureşti, ISPE, 1982.

[5] *** *Reyrolle Switchgear-Fact Sheets.* Reyrolle Ltd., Marea Britanie, 1993.

Referent: ing. Radu Constantin - GTDEE

(Primit la 7 mai 1996 , acceptat la 6 iunie 1996)

Informaţii

(continuare din pag. 225)

Când consumul este repartizat pe o zonă mai vastă (densitate de sarcină mai redusă), transformarea directă va fi insuficientă. În acest caz, reţeaua de repartiţie joacă rol de reţea de transport spre zonele de consum local şi implicit de distribuţie a energiei electrice la nivelurile de tensiune cele mai potrivite. Reţeaua de repartiţie îndeplineşte astfel funcţiile de transport şi distribuţie în acelaşi timp.

2. Niveluri de tensiuni utilizate pentru reţelele electrice şi raţionalizarea acestora

Pentru reţelele de intrconexiune şi transport, în majoritatea ţărilor se folosesc niveluri de tensiuni foarte înalte, cuprinse cel mai adesea între 400 şi 500 kV. În unele ţări cu distanţe de transport foarte mari se întâlnesc şi reţele de 735 - 765 kV.

Planificarea şi exploatarea acestor reţele de face, de regulă, la scară naţională.

Reţelele de distribuţie au un nivel de tensiune medie, ce permite transformarea directă în tensiune joasă şi care se situează între 10 kV şi 22 kV. Se mai găsesc în unele ţări reţele de tensiune cuprinse între 3 kV şi 35 kV.

Pentru reţelele de repartiţie se folosesc următoarele niveluri de tensiuni:

- nivelul de foarte înaltă tensiune de 220 kV şi 275 kV în ţări foarte dezvoltate, Franţa şi respectiv Marea Britanie. În aceste ţări, reţeaua de transport la nivel naţional funcţionează la tensiunea de 380 kV;

- nivel de înaltă tensiune cuprins între 50 kV şi 150 kV;

- nivel de tensiune medie cuprins între 20 kV şi 35 kV.

În general, nivelul reţelelor de repartiţie este o valoare intermediară între cel folosit pentru reţelele de transport şi cel folosit pentru reţelele de distribuţie de medie tensiune.

Planificarea şi exploatarea acestor reţele este făcută, de regulă, de organe regionale ale companiilor naţionale.

În foarte multe ţări s-au făcut studii de raţionalizare a nivelurilor de tensiuni utilizate pentru reţelele electrice.

În aceste studii s-a ajuns în principal la concluziile de mai jos:

• Peste nivelul de joasă tensiune (JT) optim este aplicarea a trei niveluri de tensiuni, şi anume:

- reţele de tensiune medie (MT);
- reţele de tensiune înaltă (IT) ; şi
- reţele de foarte înaltă tensiune (FIT).

• Pot exista excepţii privind aplicarea celor trei niveluri de tensiuni (peste IT), în general reducerii la două niveluri, în funcţie de repartiţiile în teritoriu, dar mai ales zone cu densitate mare de sarcină (ex. FIT/MT).

• Raportul optim dintre tensiuni a rezultat de: FIT/MT mai mare ca 3 şi IT/MT mai mare ca 5.

Este de menţionat că aceste rapoarte între cele trei categorii de reţele (FIT, IT şi MT) corespund performanţelor actuale din industria electrotehnică care asigură transformatoare, în condiţii sigure şi economice, pentru rapoartele de transformare arătate mai sus. O asemenea evoluţie, determinată şi de performanţele industriei electrotehnice, a avut loc şi în România, aşa cum se va arăta în continuare.

În perioada 1950 - 1963 tensiunea cea mai înaltă din sistemul energetic românesc era cea de 110 kV şi era folosită în principal pentru transportul la nivel naţional. La acea dată, treptele de tensiune inferioare erau de 35 kV, care avea rolul şi de reţea de repartiţie, şi de 6 - 10 kV ca reţea de distribuţie. Pe măsura dezvoltării consumului de energie electrică şi a necesităţilor de transport - repartiţie - distribuţie, s-a trecut, pentru transport, la tensiunea de 220 kV, reţelei de 110 kV revenindu-i rolul de repartiţie, alături de vechea reţea de 35 kV. Creşterea necesităţilor de energie electrică a făcut să se treacă rapid peste treapta de 220 kV, introducându-se pentru transport treapta de 400 kV. Rolul de repartiţie a revenit deci treptelor inferioare, de 220 kV, acolo unde se află, şi de 110 kV cu/sau 35 kV. În paralel, în scopul creşterii eficienţei pe ansamblul acestor reţele, s-au petrecut alte două evenimente:

- trecerea majorităţii reţelelor de distribuţie de 6 - 15 kV, existente la acea dată, la tensiunea de 20 kV;

- asimilarea de către industria românească a unor transformatoare cu rapoarte mari de transformare, şi anume de 400 /110 kV şi de 110/20 kV.

În acest context, s-a restructurat scara treptelor de tensiune, situaţie valabilă şi în prezent:

- 400 kV pentru transportul la nivel naţional;

- 110 kV pentru repartiţie şi distribuţie în zonele de mare densitate de sarcină, de exemplu în zona oraşului Bucureşti; legătura între aceste două reţele se asigură prin noile tipuri de transformatoare de 400/110 kV;

- 20 kV pentru distribuţie în zonele rurale şi în unele centre urbane;

- 6 - 10 kV pentru distribuţie în unele zone urbane şi pe unele platforme industriale.

Ca şi la nivelul reţelei de transport, legătura IT/MT se asigură prin noile transformatoare de 110/6-20 kV.

În acest context, au fost eliminate treptele intermediare de 220 kV şi respectiv 35 kV; dacă reţelele de 35 kV, practic au dispărut în întregime, instalaţiile fiind trecute la valorile imediat următoare, cele de 250 kV mai funcţionează urmând ca, treptat, să fie trecute la treptele adiacente, fie inferioare (110 kV), fie superioare (400 kV), cu unele adaptări conform studiilor efectuate în acest sens.

Deci, reţelele de repartiţie au şi ele o evoluţie specifică, concomitent cu întregul sistem energetic şi cu treptele de tensiune folosite în reţelele electrice.

Reducerea treptelor de tensiune şi pentru România, face ca reţelele de repartiţie să funcţioneze fie la tensiunea de 400 kV, fie la cea de 110 kV. În toate sistemele energetice însă, reţeaua de repartiţie are o contribuţie deosebită la menţinerea ansamblurilor de cerinţe privind calitatea serviciului reţelelor de transport şi de distribuţie, contribuind la asigurarea alimentării cu energie electrică a consumatorilor şi asigurând decisiv standardele de calitate a energiei electrice furnizate.

3. Organizarea studierii reţelei electrice de repartiţie

În privinţa reţelelor de repartiţie tendinţa este de centralizare. Gradul de contralizare este cu atât mai accentuat cu cât capacitatea de transport existentă în aceste reţele este mare şi funcţia de transport este dominantă.

În majoritatea ţărilor nu se admite o separare în procesul de planificare a reţelelor electrice de repartiţie

Dacă, din motive obiective, planificarea reţelelor de repartiţie nu se face de către o anumită

unitate centrală, ca în cazul reţelei de transport, aceasta se realizează de organizaţii regionale situate între întreprinderile de distribuţie şi unitatea centrală şi care realizează, de regulă, exploatarea acestor reţele (în Franţa sunt opt întreprinderi regionale).

Aceste organizaţii regionale folosesc însă în procesul de planificare criterii unitare pe ţară, în principal la următoarele elemente:

- evoluţia configuraţiei reţelei electrice de transport;
- criterii de dimensionare pentru reţeaua de repartiţie;
- metodologii şi programe de calcul necesare în procesul de planificare;
- parametrii tehnici şi economici pentru materiale şi echipamente utilizate în reţeaua de repartiţie.

Aceste criterii şi instrucţiuni unitare sunt realizate de planificatorii centrali şi reactualizate continuu în funcţie de necesităţi.

4. Criterii de calcul utilizate în dimensionarea reţelelor de repartiţie

S-a arătat că reţelele de repartiţie au rol de transport în zone cu densitate mică de sarcină şi rol de distribuţie primară în zone cu densitate mare de sarcină (oraşe mari şi platforme industriale).

În cele mai multe ţări criteriile de dimensionare sunt corelate cu cele folosite la dimensionarea reţelelor vecine, respectiv de transport şi de distribuţie.

Sunt şi ţări unde criteriile de dimensionare nu se raportează la funcţia reţelei, însă sunt diferite standarde de calitate pentru siguranţa alimentării consumatorilor.

Ca şi la reţelele de transport, în general, se utlizează criterii deterministe bazate pe consideraţii tehnice. Sunt şi ţări care utilizează tehnici probabilistice pentru evaluarea fiabilităţii şi calculul costurilor prevăzute pentru întăririle corespunzătoare ale sistemului.

O regulă generală se poate considera aplicarea, în majoritatea cazurilor, a unei restricţii de tipul "N-1". Aceasta înseamnă că un singur incident nu trebuie să provoace întreruperea alimentării. În acest caz, în condiţii de retragere din exploatare a unui element de reţea pentru întreţinere, continuitatea alimentării se asigură prin preluare de sarcină prin puncte de alimentare vecine, sau prin reţele cu tensiune inferioară.

Pentru consumatori foarte importanţi alimentarea se dimensionează, dacă se justifică, prin criteriul "N-2".

5. Luarea deciziilor şi politica de investiţii

În numeroase ţări, deciziile privind investiţiile în sistemul de repartiţie sunt luate la nivel descentralizat. Totuşi, pentru elementele de bază privind orientarea sau când sistemul energetic naţional este afectat, deciziile sunt luate analizând cele mai bune soluţii pe ansamblul SEN.

În general, în majoritatea ţărilor, pentru a susţine procedura de luare a tuturor acestor decizii se realizează mai multe studii diferite pe ansamblul reţelelor de transport şi repartiţie, pe diferite niveluri de analiză, şi anume:

- studii pe termen lung destinate să stabilească reţeaua ţintă sau planuri de directivă pentru nivelurile optime de tensiune, puteri nominale ale transformatoarelor, necesarul local de linii şi staţii etc.;
- studii pe termen mediu destinate stabilirii lucrărilor necesare în sistemul de trransport şi repartiţie (pe bază de criterii tehnice) şi de stabilire a priorităţilor în realizarea acestor lucrări pe baze economice;
- studii pe termen scurt destinate să determine detaliile tehnice şi termenul de punere în funcţiune şi respectiv etapizarea programului de construcţie reală a obiectivului.

În analizele economice, calculul costului pe durata de viaţă a obiectivului de investiţii se aplică din ce în ce mai mult în procesul de planificare. Acesta este format din totatul costurilor în timpul duratei de viaţă a unui proiect, care conţine costul investiţiei, costul exploatării, costul întreţinerii, costul pierderilor de energie, indisponibilităţi previzibile şi alte aspecte ale calităţii serviciului.

În locul utilizării duratei de viaţă, se alege adeseori o tranşă de timp mai mică, de exemplu un deceniu.

În general, reţelele de repartiţie în majoritatea ţărilor funcţionează buclat, secţionările acestor reţele fiind realizate din raţiuni tehnice numai acolo unde este necesar.

În unele ţări, cu reţele de transport foarte dezvoltate, se practică o exploatare separată în jurul unui punct de alimentare individual, începând cu cele mai înalte niveluri de tensiune (ex. 220 kV), realizându-se o alimentare în buzunar, deci fără o exploatare paralelă. În primul caz, consecinţele exploatării în caz de defect la nivelul reţelei de transport trebuie analizate în detaliu.

6. Aspecte mai importante legate de planificarea reţelei de repartiţie din ţara noastră

În ţara noastră reţeaua de repartiţie este formată, în principal, de reţeaua de 110 kV. Această reţea îndeplineşte, într-o proporţie destul de mare, funcţionarea de reţea de transport dacă ţinem seama că circa 9000 MW din puterea instalată în centrale este racordată la tensiunea de 110 kV şi că densitatea de sarcină în ţara noastră este foarte redusă (fig.1). După anul 1960, o parte importantă din reţelele de 110 kV

s-a dezvoltaat în scopul alimentării unor mari platforme industriale, precum şi a unor oraşe mari. Funcţionarea acestor reţele este, în principal, de distribuţie primară, suprapunându-se în această funcţiune peste reţeaua de distribuţie de medie tensiune.

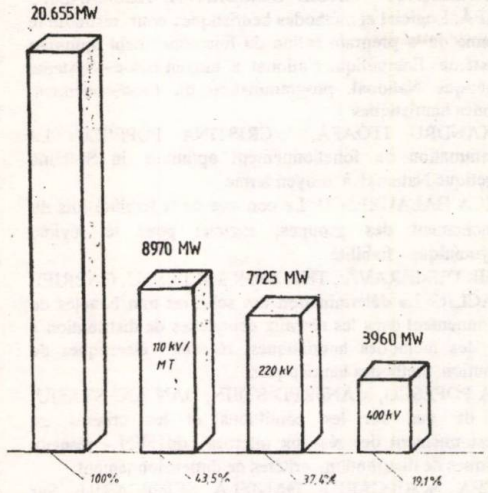


Fig.1a. Putere debitată în SEN la diverse tensiuni. Anul 1993

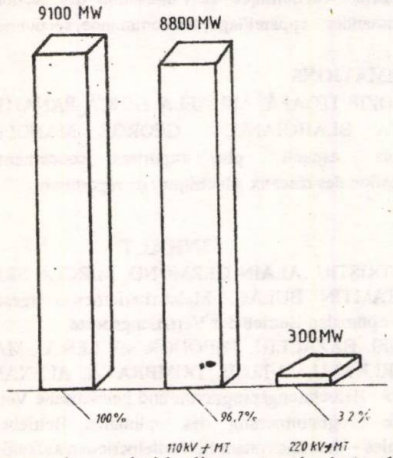


Fig.1b. Consumatori racordaţi la diverse tensiuni. Anul 1993

Deci, ca şi în alte ţări, această reţea are funcţiunea de reţea de distribuţie primară. Dacă am face o separare pe funcţiuni a reţelei de 110 kV, circa 1500 km traseu îndeplineşte în principal funcţii de transport, aproximativ 83 %, şi circa 3000 km traseu funcţiunea de distribuţie primară, circa 17 % (tabelul 1).

Tabelul 1

Lungimea liniilor electrice aeriene la finele anului 1993

LEA 750 kV	LEA 400 kV	LEA 220 kV	LEA 110 kV		
			Distribuţie primară	Transport general	Total
154	4310	3600	3000	14.945	17.945

Dimensionarea reţelei de 110 kV s-a făcut după funcţiunile acestei reţele (în funcţiunea de reţea de transport conform cu PE - 026, iar în funcţiunea de reţea de distribuţie primară conform cu PE - 124). Pentru compararea tehnico-economică a variantelor s-a aplicat normativul PE - 011, în toate studiile de planificare.

Şi în ţara noastră procedura de luare a deciziilor se bazează pe o suită de studii: pe termen lung, pe termen mediu şi pe termen scurt. Conţinutul şi scopul acestor studii este similar cu al celor realizate în alte ţări prezentate în materialul de faţă.

La constituirea variantelor din studiile de planificare se ţine seama, de asemenea, de ipotezele extreme de dezvoltare, respectiv cu dezvoltare "0" şi varianta în care este eliminată voit dezvoltarea istorică a reţelei. Aceste variante extreme sunt realizate în scopul punerii în evidenţă a efectelor tehnico-economice a lucrărilor noi necesare, precum şi pentru a scoate în evidenţă variantele de dezvoltare care sunt integrate cel mai bine în progresul tehnic din momentul realizării studiului.

ing. Alexandru Itoafă.; ing. Dincă Panaitescu; ing. Rodica Blahoianu; dr. ing. George Manolescu

СОДЕРЖАНИЕ

ИОН ТРИШТИУ, АЛЕН ЖЕРМОНД, МИРЧЕА ЕРЕМИЯ, КОНСТАНТИН БУЛАК: Реконфигурация на основе многих критериев с целью оптимизации функционирования распределительных электрических сетей 201

ГАБРИЕЛ БАЗАКЛИУ, ТЕОДОР МИКЛЕСКУ, МАРИУС ПОМЫРЛЕАНУ, ВИРДЖИЛ ДУМБРАВЭ, АЛЕКСАНДРУ ИТОАФЭ: Программа для оптимального функционирования национальной электрической системы на средние промежутки времени 208

АЛЕКСАНДРУ ИТОАФЭ, КРИСТИНА ПОПЕСКУ: Программирование оптимального функционирования национальной электрической системы насредние промежутки времени 217

РОДИКА БАЛАУРЕСКУ: Контроль надёжности в работе агрегатов при выключениях; программа вычисления послединамическово режима 222

ВИРДЖИЛ ДУМБРАВЭ, ТЕОДОР МИКЛЕСКУ, ГАБРИЕЛ БАЗАКЛИУ: Установление разамкнутых схем функционирования в комплексных распределительных сетей эвристическими методами 226

АНКА ПОПЕСКУ, МАНФРЕД ШТАЙН, ДАН АНАСТАСИУ: Некоторые соображения об условиях и критериях определения размеров внутренных сетей национальной энергетической системы 235

МИРЧЕА СКРИПКАРЮ, ДАНИЕЛА СКРИПКАРЮ: О целесообразности использования телеуправляющего разъединителя 239

ИНФОРМАЦИИ

АМБРОЗИЕ ИТОАФЭ, МИХАЕЛА ДИНКЭ ПАНАИТЕСКУ, РОДИКА БЛАХОЯНУ, ДЖЕОРДЖЕ МАНОЛЕСКУ: Более важные виды планирования электрических сетей распределения 225, 242

CONTENTS

IOAN TRIŞTIU, ALAIN GERMOND, MIRCEA EREMIA, CONSTAMTIN BULAC: Multiple criteria based reconfiguration for the distribution networks operation optimization 201

GABRIEL BAZACLIU, THEODOR MICLESCU, MARIUS POMÂRLEANU, VIRGIL DUMBRAVĂ, ALEXANDRU ITOAFĂ: Program and heuristic methods that aim at solving the problem of the National Power System optimum operation on medium term 208

ALEXANDRU ITOAFĂ, CRISTINA POPESCU: Electric network operation optimization national power system mediu-term optimum operation programing 217

RODICA BALAURESCU: The control of the power generation sets disconnection reliability. Programs for the computation of the post-dynamic state (Steady-State) 222

VIRGIL DUMBRAVĂ , THEODOR MICLESCU, GABRIEL BAZACLIU: Heuristic methods for the determination of the open loop operation of the complex, distribution networks 226

ANCA POPESCU, MANFRED STEIN, DAN ANASTASIU: Considerations on the substantiation and dimensioning conditions of the national power system networks 235

MIRCEA SCRIPCARIU, DANIELA SCRIPCARIU: On economic opportunity of the remote-controlled disconnectors usage 239

INFORMATION

AMBROZIE ITOAFĂ, MIHAELA DINCĂ PANAITESCU, RODICA BLAHOIANU, GEORGE MANOLESCU: Significant aspects regarding the distribution networks planning 225, 242

SOMMAIRE

IOAN TRIŞTIU, ALAIN GERMOND, MIRCEA EREMIA, CONSTAMTIN BULAC: Réconfiguration multicritère pour l'optimisation du functionnement des réseaux électriques de distribution 201

GABRIEL BAZACLIU, THEODOR MICLESCU, MARIUS POMÂRLEANU, VIRGIL DUMBRAVĂ, ALEXANDRU ITOAFĂ: Logiciel et méthodes heuristiques pour résoudre le problème de la programmation du fonctionnement optimum du Système Energétique National à moyen terme - Système Energétique National, programmation du fonctionnement, méthodes heuristiques 208

ALEXANDRU ITOAFĂ, CRISTINA POPESCU: La programmation du fonctionnement optimum du Système Energétique National à moyen terme 217

RODICA BALAURESCU: Le contrôle de la fiabilité lors du déclenchement des groupes; logiciel pour le régime postdymanique - fiabilité 222

VIRGIL DUMBRAVĂ , THEODOR MICLESCU, GABRIEL BAZACLIU: La détermination des schémas non bouclés de fonctionnement dans les réseaux complexes de distribution à l'aide des méthodes heuristiques; réseaux électriques de distribution, méthodes heuristiques 226

ANCA POPESCU, MANFRED STEIN, DAN ANASTASIU: Point de vue sur les conditions et les critéres de dimensionnement des réseaux internes du SEN - réseaux électriques de distribution, critères de dimensionnement 235

MIRCEA SCRIPCARIU, DANIELA SCRIPCARIU: Sur l'oppotunité économique de l'utilisation des sectionneurs télécommandés - appareillage, télécommande, sectionneurs 239

INFORMATIONS

AMBROZIE ITOAFĂ, MIHAELA DINCĂ PANAITESCU, RODICA BLAHOIANU, GEORGE MANOLESCU: Quelques aspects plus importants concernant la planification des réseaux électriques de répartition 225, 242

INHALT

IOAN TRIŞTIU, ALAIN GERMOND, MIRCEA EREMIA, CONSTAMTIN BULAC: Mehrkriteriumswiedergestaltung für den optimalen Betrieb der Verteilungsnetze 201

GABRIEL BAZACLIU, THEODOR MICLESCU, MARIUS POMÂRLEANU, VIRGIL DUMBRAVĂ, ALEXANDRU ITOAFĂ: Berechnungsprogramm und heuristische Verfahren um die Programmierung des optimalen Betriebes des Nationales - Verbundsystem für Mittelperioden aufzulösen 208

ALEXANDRU ITOAFĂ, CRISTINA POPESCU: Programierung des optimalen Betriebes des Nationales - Verbundsystem für Mittelperioden 217

RODICA BALAURESCU: Prüfung der Betriebssicherheit bei den Aggregatsätzeauslösungen; Berechnungsprogramm für den nachdynamischer Betrieb 222

VIRGIL DUMBRAVĂ , THEODOR MICLESCU, GABRIEL BAZACLIU: Festlegung entmaschter Betriebsschaltbilder komplexer Verteilungsnetze unter Anwendungheuristicher Methoden 226

ANCA POPESCU, MANFRED STEIN, DAN ANASTASIU: Einige Betrachtungen zu den Bemeßungsbedingungen - und Kriterien für Ihnennetze des Nationales Verbundsystem 235

MIRCEA SCRIPCARIU, DANIELA SCRIPCARIU: Zur Frage der ökonomischen Zweckmäßigkeit des Einsatzes ferngesteuerten Trennschalter 239

INFORMATIONEN

AMBROZIE ITOAFĂ, MIHAELA DINCĂ PANAITESCU, RODICA BLAHOIANU, GEORGE MANOLESCU: Wesentliche Aspekte der Plannung elektrischer Verteilungs- 225, 242

INFORMÁCIÓS KÖNYVTÁRA OROSZLÁNY 1983

Regia Autonomă de Electricitate Romania RENEL

GSCI

Grupul de Studii, Cercetare şi Inginerie

Bd. Energeticienilor 8, 79619 Bucureşti, Romania
tel. 401 321 6966, 401 323 6730, fax 401 321 1010
e-mail: srai@cci. vsat. ro, telex: 10783 icce r
Cont bancar: 30.11.8.01.01 BCR fil. sect. 3, Bucureşti

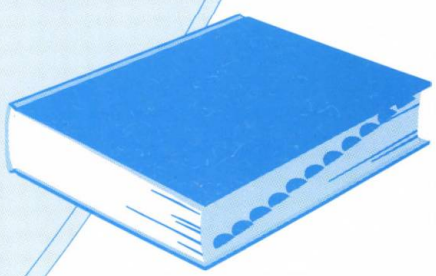
CIDE - CENTRUL DE INFORMARE ŞI DOCUMENTARE ENERGETICĂ
tel.: 321.69.66/307; 323.67.30/235; fax.: 321.10.10

Serviciul Informare - Documentare **tel. 323 67 30/ 287**	**Serviciul Redacţie şi Editură** **tel. 323 67 30/ 144**
Serviciul Ediţie **tel. 323 67 30/ 287**	**Serviciul Arhive şi Brevete** **tel. 321 69 66/ 288**

PRINCIPALELE ACTIVITĂŢI

- Conceperea şi coordonarea sistemului de activităţi de informare documentară în conformitate cu strategia RENEL
- Selectarea, analizarea, prelucrarea şi diseminarea informaţiilor din domeniul energiei
- Administrarea bazei de date bibliografice SIDEnerg
- Realizarea de cercetări bibliografice şi sinteze documentare pe teme date
- Elaborarea, redactarea şi editarea de publicaţii primare sau secundare
- Efectuarea de traduceri prelucrate şi retroversiuni
- Asigurarea de servicii editoriale, de tipografie şi fotomultiplicare
- Asigurarea serviciului de arhivare şi de protecţie a proprietăţii intelectuale
- Administrarea bibliotecii tehnice

CIDE VĂ OFERĂ



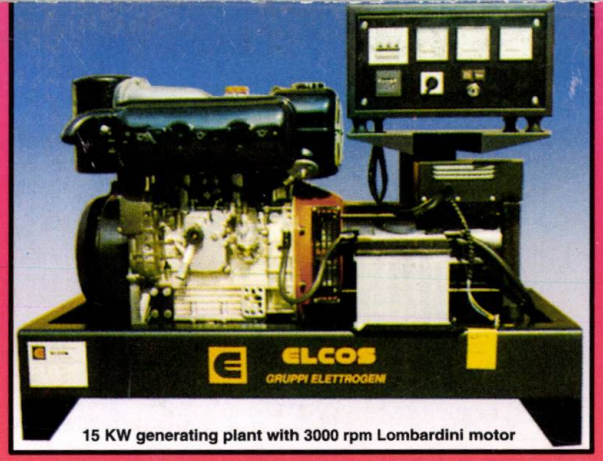
- Cercetări bibliografice pe teme date
- Traduceri prelucrate şi retroversiuni
- Servicii de împrumut bibliotecar
- Servicii de tipografie şi xerografiere
- Procesare computerizată, text şi imagine
- Publicaţii:
  - Energetica
  - Producerea, transportul şi distribuţia energiei electrice şi termice
  - Informaţii tehnico-ştiinţice
  - Buletin informativ pentru energie
  - Normative energetice

100% INFORMAŢIE

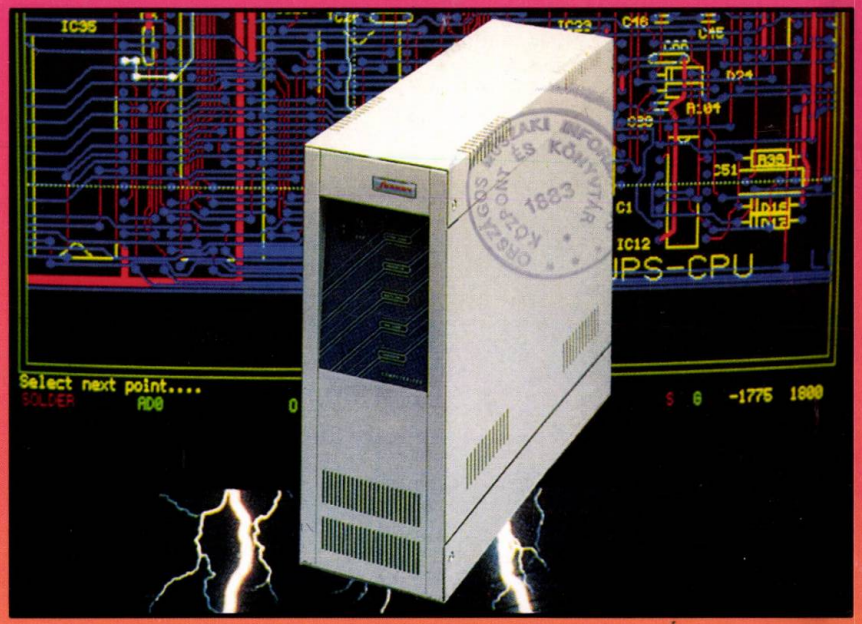
CIDE

RO SHANDY s.r.l.

TEL.: 0040/1/746.05.67
TEL./FAX: 0040/1/312.95.10
BUCUREŞTI sector 6,
BD. TIMIŞOARA 39, bl. 36, ap.11



15 KW generating plant with 3000 rpm Lombardini motor



Societatea româno-italiană **RO SHANDY SRL** a fost creată ca societate mixtă cu parteneri italieni producători de echipamente electronice. Societatea funcţionează în domeniile: comerţ, producţie, proiectare, service pe echipamente fabricate în ITALIA.

Echipamentele pe care le oferim sunt următoarele:

- **SURSE DE ALIMENTARE NEÎNTRERUPTĂ** (UPS) în gama 100W...26kVA cu aplicaţii de alimentare a calculatoarelor şi reţelelor de calculatoare, sisteme de telecomunicaţii, centrale digitale, aparatură medicală, procese automatizate.
- **INVERTOR+REDRESOR** gama 500 VA.....800 kVA cu aplicaţii industriale, navale etc.
- **INVERTOARE SPECIALE** 110 Vc.c./220 Vc.a. şi 220 Vc.c./220 Vc.a. pentru staţii electrice RENEL.
- **STABILIZATOARE C.A** mono şi trifazate 300 W.....100 kVA.
- **REDRESOARE** cu microprocesor pentru încărcarea bateriilor.
- **CONVERTIZOARE TRIFAZATE c.a./c.c.** reversibile, cu recuperare de energie în reţea, controlate cu microprocesor.
- **CONVERTIZOARE STATICE DE FRECVENŢĂ FIXĂ** în gama 45...400 Hz şi puteri 1...600 kVA.
- **CONVERTIZOARE STATICE DE FRECVENŢĂ VARIABILĂ** pentru acţionarea motoarelor asincrone, monofazate şi trifazate, cu microcontroler şi control de câmp cu puteri 0,75....110 kW.
- **DEMAROR DE MOTOARE ASINCRONE**
- **GRUPURI ELECTROGENE** cu motoare IVECO AIFO, CUMMINS, PERKINS, VOLVO PENTA, SAME, VM, LOMBARDINI, LISTER PETTER, cu gama între 2...1400 kVA, răcire cu apă sau aer insonorizate, mobile sau construite în bază fixă.

Întreprinderea producătoare italiană *SHANDY* este atestată ISO 9001, iar produsele sunt omologate de institutul german FACHAUSSCHUB ELEKTROTECHNIK.

E 2039/A
FF
000000 260093

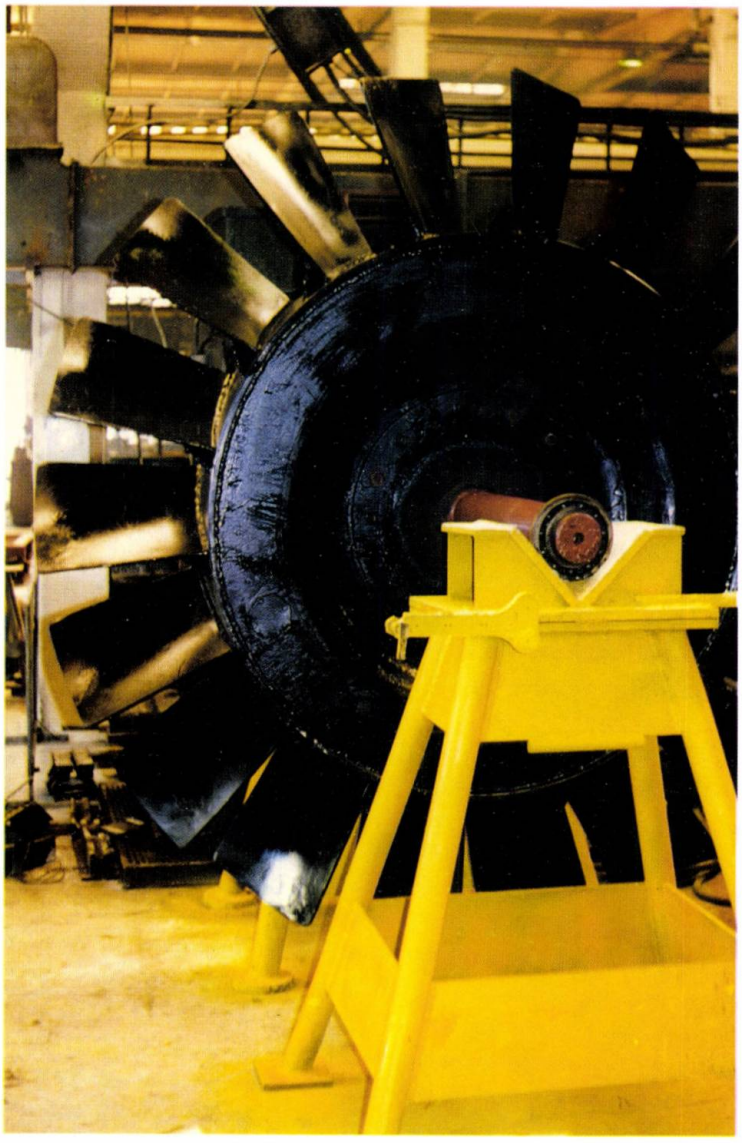
6 ENERGETICA

SERIA B

Romania
RENEL

NOIEBRIE - DECEMBRIE 1996

ENERGETICIENI PROTEJATI NATURA !



Competence in service of energy

ABB Energoreparaţii Romania Ltd.
Bucharest

ABB Power T&D Ltd.
Bucharest

ABB Rometrics Ltd.
Timişoara

ABB Romania Ltd.
16, Ion Cîmpineanu street
70100 Bucharest

ABB

ENERGETICA

REVISTA DE SPECIALITATE
A ENERGETICIENILOR
DIN ROMÂNIA

ANUL 44 Nr. 6, SERIA B NOIEMBRIE - DECEMBRIE 1996

ISSN 1220 - 5141

Număr special "Optimizarea funcţionării reţelelor electrice"

Revista ENERGETICA a fost înfiinţată în anul 1953, continuând tradiţia vechilor publicaţii inginereşti care au avut preocupări în domeniul energiei ca, de exemplu:
- Diaru pentru vulgarizarea ştiinţelor naturale şi fizice (1870 - 1882);
- Buletinul Societăţii Politehnice (1887 - 1944);
- Buletinul Asociaţiei Generale a Inginerilor din România - AGIR (1919 - 1946);
- ENERGIA, editată de ing. Dumitru Leonida (1921);
- Buletinul Asociaţiei Producătorilor şi Distribuitorilor de Energie Electrică - APDE (1932 - 1944);
- Buletinul Institutului Român de Energie - IRE (1933 - 1944)

Opiniile exprimate în articolele publicate în revista ENERGETICA aparţin autorilor acestora.

Orice reproducere integrală sau parţială, prin indiferent ce procedeu, a materialelor apărute în revista ENERGETICA poate fi făcută numai cu aprobarea biroului de redacţie. Sunt autorizate numai citările destinate lucrărilor ştiinţifice şi volumelor în care acestea sunt inserate.

Revista apare alternativ în două serii:
- seria A, care tratează probleme de surse de energie, conversie de energie, poluare a mediului înconjurător, utilizare a căldurii etc.;
- seria B, care tratează probleme electrice, inclusiv ale centralelor electrice, staţiilor electrice, ale liniilor de transport şi distribuţie a energiei electrice, sisteme electroenergetice etc.

Fiecare serie are 6 numere pe an.

CUPRINS

MIHAI GAVRILAŞ, GHEORGHE GEORGESCU: Utilizarea algoritmilor genetici pentru determinarea schemei optime de funcţionare a reţelelor de distribuţie urbană 249

GABRIEL BAZACLIU, THEODOR MICLESCU, JEAN CONSTANTINESCU, VIRGIL DUMBRAVĂ: Model matematic şi metodă de rezolvare pentru programarea funcţionării optime a sistemului energetic naţional (SEN), pe perioade medii de timp 257

VIRGIL DUMBRAVĂ, THEODOR MICLESCU, GABRIEL BAZACLIU: Algoritm secvenţial pentru proiectarea configuraţiei traseelor reţelelor electrice urbane de distribuţie buclate 268

ION MIRCEA, LEONARDO-GEO MĂNESCU: Optimizarea dimensionării şi controlului capacităţii şunt pentru compensare la nivelul feederilor de distribuţie 273

INFORMAŢII

CONSTANTIN MUNTEANU: Tehnologie de determinare a acoperirii cu vopsea a stâlpilor metalici la liniile electrice aeriene (LEA) 278

LELIAN CIOROIANU, GABRIELA CIOROIANU, IOAN SĂULEAC, RODICA ALBIŞOR, GEORGE BARBU, ADRIAN BANTAŞ: Materiale noi necesare aplicării tehnologiilor de mentenanţă la instalaţiile energetice 280

x x x Primim de la UNIPEDE 285

MANIFESTĂRI TEHNICO-ŞTIINŢIFICE 289

CUPRINSUL GENERAL AL REVISTEI ENERGETICA, SERIA B, PE ANUL 1996 290

INDICE DE AUTORI PENTRU ARTICOLELE APĂRUTE ÎN REVISTA ENERGETICA, SERIA B, PE ANUL 1996 292

Our review publishes ADVERTISMENTS for your PRODUCTS, TECHNOLOGIES, SERVICES, etc.

Please, contact us at the address:
Revista ENERGETICA
GSCI, B-dul Energeticienilor nr.8,
Bucureşti III, RO 79619
Phone : (401)321 69 66/149
Fax: (401)321 10 10
Telex: 10783

COLEGIUL DE REDACŢIE

BIROUL: dr . ing. Eugeniu PAVEL - preşedinte, ing. Vasile RUGINĂ - redactor-şef; dr. ing. Jean CONSTANTINESCU - redactor-şef adjunct; prof. dr. ing. Dumitru Cezar IONESCU - redactor-şef adjunct; ing. Radu OPINCARU; ing. Ion CONECINI; ing. Vladimir CONSTANTINESCU; conf. dr. ing. Virgil MUŞATESCU ; ing. Dan GHEORGHIU; ing. Nicolae NICULESCU; ing. Mihai NICOLAU; dr. ing. Ioan GANEA

MEMBRI: conf. dr. ing. Florin ALEXE; ing. Ovidiu APOSTOL; prof. dr. ing. Victor ATHANASOVICI; prof. dr. ing. Adrian BADEA ; prof. dr. ing. Cornel BIANCHI; ing. Paul CARTIANU; ing. Mircea CÂRDU; ing.Radu CONSTANTIN; prof. dr. ing. Dorin CRISTESCU; prof. dr. ing. Nicolae DĂNILĂ; dr. ing. Laurenţiu GOIA; prof dr. ing. Nicolae GOLOVANOV ; prof. dr. ing. Dumitru IVAS; prof. dr. ing Aureliu LECA; dr. ing. Gheorghe LUCA; dr. ing. Magdalena MATEI; ing. Cornel MOŢIU; prof. dr. ing. Constantin NEAGA; prof. ing. Mircea NEMEŞ; prof. dr. ing. Valeriu NISTREANU; ing. Cornel PÂSLARU; prof. dr. ing. Alexandru POEATĂ; dr. ing. Marius POMÂRLEANU; prof. dr. ing. Florin POP; dr. ing. Teodor POPA; dr. ing. Anca POPESCU; ing. Miron POPESCU; conf. dr. ing. Petre POSTOLACHE; dr. ing. Dan Ion PREDOIU; ing. Radu REGMAN; ing. Gabriel ROMAŞCU; ing. Anton ROŞU ; ing. Margarios SALGIAN; ing. Alexandru SĂNDULESCU; ing. Emilian SIMIAN; ing. Cristian TOTOLO; ing. Anton VLĂDESCU

Redactor : Ana Maria CHIVU

Editat cu sprijinul Ministerului Cercetării şi Tehnologiei - Colegiul Consultativ pentru Cercetare Ştiinţifică şi Dezvoltare Tehnologică

Redacţia şi administraţia: GSCI, B-dul Energeticienilor nr.8, sector 3, CP 79619, Bucureşti
Telefon: (401)321 69 66/149; Telex : 10783; Fax: (401)321 10 10

Tiparul executat la GSCI

UTILIZAREA ALGORITMILOR GENETICI PENTRU DETERMINAREA SCHEMEI OPTIME DE FUNCŢIONARE A REŢELELOR DE DISTRIBUŢIE URBANĂ

conf. dr. ing. MIHAI GAVRILAŞ; prof. dr. ing. GHEORGHE GEORGESCU *

Stabilirea configuraţiei optime a reţelelor de distribuţie urbană folosind criteriul pierderilor minime de energie pe o perioadă de referinţă necesită analiza unui număr foarte mare de variante posibil a fi definite în schema de funcţionare a reţelei. Rezolvarea acestei probleme pe căi tradiţionale presupune folosirea programării matematice în numere întregi, care duce, de regulă, la metode laborioase şi puţin eficiente, în special în cazul unor reţele de mari dimensiuni.

Algoritmii genetici sunt tehnici de optimizare sau căutare ce au la bază mecanismele selecţiei naturale din genetică. Deoarece aceşti algoritmi sunt folosiţi cu precădere la rezolvarea unor probleme de optimizare combinatorie, ei pot fi aplicaţi cu succes şi în cazul determinării schemei optime de funcţionare a reţelelor de distribuţie. Pentru asemenea reţele graficele de sarcină ale consumatorilor sunt modelate cu ajutorul graficelor tip de sarcină şi al unui număr redus de măsurători efectuate direct în reţea. Structura reţelei este modelată cu ajutorul unor "lanţuri cromozomiale" binare, care, prin înmulţire, cu respectarea principiilor selecţiei naturale şi a unor eventuale mutaţii, conduc la dezvoltarea unei "populaţii" de asemenea structuri. Pe măsura evoluţiei algoritmului aceasta va conţine o proporţie din ce în ce mai mare de asemenea "lanţuri", corespunzătoare schemei de funcţionare, care asigură nivelul minim al pierderilor de energie.

The establishment of the urban distribution networks optimum configuration by means of the minimum energy losses over a reference period requires the analysis of a large number of variants that may be defined in the network functional diagram. To solve this problem in a traditioanl way one would need mathematical integer programming which usually leads to time-consuming and less efficient methods, especially in the case of large networks.

The genetic algorithms are optimization or searching techniques based on the genetics natural selection mechanisms.

As these algorithms are especially used to solve combinatorial optimization problems they can be successfully used in the case of optimum functional diagram determination of the distribution networks. For this kind of networks the load diagrams of the consumers are simulated by means of the standard load diagrams and of a small number of measurements performed directly in the network.

The network structure is simulated by means of binary "chromasome chains" which, through multiplication and with the observance of the natural selection principles and of some possible mutations bring about the development of a "population" of such structures. As the algorithm evolves it will contain an increasingly greater number of such "chains" corresponding to the functional diagram that ensures the minimum energy losses level.

Descriptori: reţele electrice de distribuţie, metode euristice

Introducere

Proiectarea unei reţele de distribuţie în configuraţie complex buclată, de tipul celei reprezentată în figura 1, presupune rezolvarea următoarelor probleme: stabilirea traseelor pentru distribuitori, dimensionarea reţelei (alegerea tipului de linie pentru fiecare distribuitor şi tronson, a numărului de faze şi a secţiunii conductoarelor) şi determinarea secţionării celei mai avantajoase (stabilirea punctelor de secţionare care asigură funcţionarea într-o schemă radială).

Pentru selectarea soluţiei optime conform unui criteriu dat este necesară analiza simultană a tuturor problemelor amintite. Numărul combina-

* Universitatea Tehnică "Gh. Asachi" Iaşi

ţiilor posibile privind alegerea traseelor, dimensionarea reţelei şi secţionarea acesteia este, de regulă, foarte mare. Aplicarea metodelor tradiţionale de optimizare, care asigură minimizarea unei funcţii obiectiv ţinând seama de toate cele trei aspecte menţionate, este laborioasă şi presupune adoptarea unor ipoteze simplificatoare, care influenţează în bună măsură soluţia selectată.

O alternativă la aceste metode, citată frecvent în literatura de specialitate recentă [8,9,10,12], o reprezintă utilizarea algoritmilor genetici. În lucrare se prezintă modul de utilizare a acestor algoritmi pentru stabilirea punctelor optime de secţionare ale unei reţele de distribuţie cu configuraţie complex buclată.

1. Algoritmi genetici

Algoritmii genetici (AG) sunt algoritmi adaptivi care determină soluţia optimală a unei probleme de optimizare pe baza unor mecanisme specifice geneticii şi selecţiei naturale. În acest scop, AG folosesc un set de soluţii (denumite frecvent **cromozomi**), care, în cursul evoluţiei de la o generaţie la alta, îşi schimbă structura, orientându-se către o soluţie acceptabilă (optimală sau suboptimală). Populaţia iniţială are o componenţă stabilită aleatoriu, iar evoluţia ei are loc după principiul "**cel mai adaptat supravieţuieşte**".

Aplicarea AG la rezolvarea unei probleme de optimizare necesită parcurgerea a cinci etape şi anume: reprezentarea soluţiilor admisibile, evaluarea soluţiilor, reproducerea, recombinarea şi inducerea unor mutaţii. Dintre aceste etape, ultimele patru se reiau de manieră iterativă până la satisfacerea unei condiţii de oprire.

Reprezentarea soluţiilor admisibile. O soluţie admisibilă, care în contextul AG poartă numele de "**cromozom**", se reprezintă printr-un lanţ cromozomial de lungime finită. În majoritatea studiilor din literatura de specialitate [7, 9, 14] valorile elementelor din lanţul cromozomial au o codificare binară. De exemplu, pentru reţeaua din figura 1, lanţurile cromozomiale din figura 2 reprezintă soluţii admisibile, corespunzătoare debuclării reţelei prin deconectarea tronsoanelor (4, 12, 17), (5, 8, 16), respectiv (3, 13, 18).

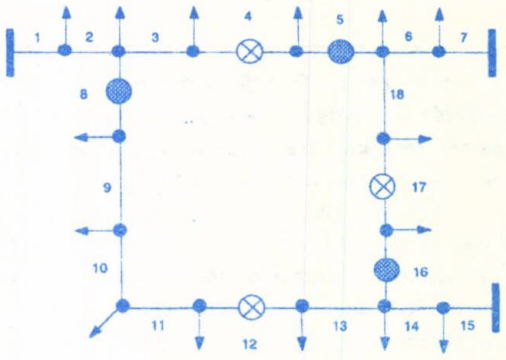


Fig.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1

Fig.2.

Evaluarea soluţiilor. Evaluarea soluţiilor admisibile se face cu ajutorul funcţiei obiectiv, care descrie problema de optimizare analizată. Pe baza acestei evaluări se stabileşte gradul în care soluţia respectivă se adaptează problemei, de unde şi denumirea încetăţenită pentru funcţia respectivă de "**funcţie de adaptare**". Trebuie menţionat că, prin însuşi specificul lor, AG evoluează în sensul maximizării funcţiei de adaptare **f**. Prin urmare, dacă problema considerată urmăreşte minimizarea funcţiei obiectiv F (aşa cum este cazul a numeroase probleme din energetică), funcţia de adaptare se defineşte ca inversă a acesteia $f = F^{-1}$.

În cursul acestei etape informaţia înscrisă în fiecare cromozom este decodificată şi, pe baza ei, se procedează la evaluarea funcţiei de adaptare pentru fiecare cromozom.

Reproducere. În cadrul acestei etape are loc crearea unei noi populaţii pe baza gradului de

adaptare a fiecărui cromozom, stabilit în etapa anterioară. Noua populaţie este generată pe baza unor copii exacte ale cromozomilor existenţi: cromozomul cu cea mai mare valoare a funcţiei de adaptare va produce cele mai multe copii, iar cromozomul cu funcţia de adaptare cea mai mică, va produce cele mai puţine copii.

Cea mai răspândită cale de aplicare a operatorului de reproducere o reprezintă aşa-numita reproducere proporţională. În acest caz, fiecare cromozom produce un număr de copii proporţional cu raportul $f_i \Big/ \sum_j f_j$, unde f_i reprezintă funcţia de adaptare a cromozomului i.

Recombinarea (Încrucişarea). Soluţia optimă a problemei analizate este diseminată în informaţia conţinută de toţi cromozomii populaţiei. Pentru agregarea diferitelor segmente ale informaţiei corespunzătoare soluţiei optime, AG apelează la etapa recombinării. Cea mai frecvent utilizată tehnică de recombinare este "**încrucişarea**". În acest caz, din populaţia curentă se aleg doi cromozomi "**părinţi**", prin a căror încrucişare vor rezulta alţi doi cromozomi "**urmaşi**". Pentru o lungime L a cromozomilor, încrucişarea se realizează într-un punct M generat aleatoriu în intervalul (1, L). De exemplu, pentru primii doi cromozomi "**părinţi**" din figura 2, dacă încrucişarea se produce în punctul 7, rezultă cromozomii "**urmaşi**" reprezentaţi în figura 3. Se constată că ambii cromozomi "**urmaşi**" reprezintă soluţii admisibile ale problemei, conducând la noi debuclări (4, 8, 16) şi (5, 12, 17), care nu existau în populaţia anterioară.

relativ deficitară, orice recombinare între cromozomi să nu poată duce la soluţia optimă. De exemplu, dacă pentru reţeaua din figura 1 debuclarea optimă corespunde unei triplete care conţine şi tronsonul 10, soluţia globală a problemei de optimizare nu va putea fi atinsă dacă generaţia iniţială conţine numai cei trei cromozomi din figura 2, deoarece nici unul dintre ei nu are bitul 10 setat la valoarea 1.

Eliminarea acestui neajuns este posibilă dacă unora dintre cromozomi li se aplică, cu o anumită probabilitate, un operator specific, de mutaţie. Acest operator alege la întâmplare unul din cromozomi, după care generează un număr aleator cuprins între 1 şi L (lungimea lanţului cromozomial) şi realizează bascularea între 0 şi 1 a elementului cu numărul de ordine respectiv din lanţ.

În comparaţie cu metodele tradiţionale de rezolvare a problemelor de optimizare, AG prezintă o serie de avantaje, dintre care menţionăm [5] : (a) deoarece AG folosesc reprezentări ale soluţiilor potenţiale şi nu soluţiile înseşi, ei nu necesită o modelare foarte riguroasă a problemei analizate, ceea ce are implicaţii pozitive atât asupra memoriei folosite, cât şi asupra timpului de calcul; (b) spre deosebire de metodele tradiţionale (de exemplu, metodele de gradient), care folosesc reprezentări analitice ale problemei analizate, AG nu necesită calculul complex al unor derivate; (c) AG realizează o căutare paralelă în spaţiul soluţiilor, în opoziţie cu căutările pas-cu-pas. Aceşti algoritmi pot analiza simultan un număr sporit de regiuni din spaţiul soluţiilor. Acesta este unul din motivele pentru care AG sunt mai puţin sensibili faţă de minimele locale.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0

Fig. 3

Mutaţii. Etapa de recombinare asigură îmbogăţirea informaţiei esenţiale înmagazinate în lanţurile cromozomiale. Totuşi, este posibil ca, pornind de la o generaţie iniţială cu o structură

Aceste avantaje au atras atenţia specialiştilor, astfel încât, până în prezent, AG au fost aplicaţi în diverse domenii, cum ar fi optimizarea combinatorie, procesarea imaginilor,

controlul sistemelor de conducte pentru gaze naturale şi învăţarea artificială [2]. În energetică există numeroase studii privind aplicarea AG în probleme cum ar fi planificarea pe termen scurt a funcţionării grupurilor din centralele hidroelectrice [14], repartiţia optimă a puterii între centrale [1, 3, 10], debuclarea optimă a reţelelor de distribuţie [9,13] sau repartiţia optimă a surselor de compensare [8, 11, 12].

2. Utilizarea AG în vederea debuclării optime a reţelelor de distribuţie

Într-o reţea de distribuţie buclată cu funcţionare radială fiecare distribuitor este împărţit într-un număr de tronsoane, care pot fi izolate prin deconectarea separatoarelor de la extremităţi şi este legat, printr-un tronson de rezervă, cu un alt distribuitor. În figura 4 se prezintă o asemenea reţea de distribuţie, pentru care se urmăreşte determinarea punctelor optime de secţionare, care să asigure minimizarea pierderilor de energie în reţea pe o durată determinată. Cifrele încadrate indică nodurile extreme ale distribuitorilor, iar cifrele încercuite indică numărul de ordine al distribuitorilor. De asemenea, pe fiecare distribuitor au fost numerotate, în ordine crescătoare, tronsoanele. Nodurile 1 şi 2 reprezintă noduri de alimentare a reţelei.

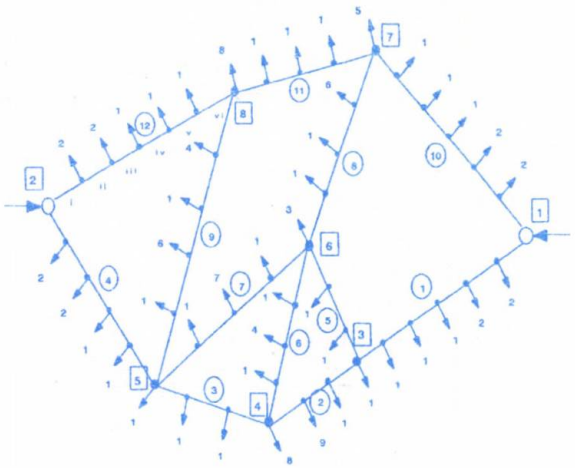


Fig. 4

2.1. Formularea problemei de optimizare

Problema de optimizare poate fi formulată astfel :

➢ Funcţia obiectiv :

$$F = \sum_{t=1}^{T} \sum_{i=1}^{ND} \sum_{j=T_{1i}}^{T_{2i}} I_{jti}^2 r_{ij} = \min! \qquad (1)$$

➢ Restricţii :

- curent limită termic :

$$\sum_{j=T_{1i}}^{T_{2i}} I_{jti} \le I_{adm\ i} \quad t = 1,\ldots,T, \quad i = 1,\ldots,ND \qquad (2)$$

- pierderi de tensiune :

$$\sum_{k \in M_i} \sum_{j=T_{1k}}^{T_{2k}} I_{jtk} Z_{jk} \le DU_{adm\ i}, \quad t = 1,\ldots,T \quad i = 1,\ldots,ND \qquad (3)$$

- alimentarea tuturor consumatorilor :

$$\sum_{i=1}^{ND} \theta_{ij} = 1 \qquad (4)$$

unde:

I_{jti} este curentul pe tronsonul j al distribuitorului i la ora t;

r_{ij} - rezistenţa tronsonului j al distribuitorului i;

$I_{adm\ i}$ - curentul maxim admisibil corespunzător distribuitorului i;

Z_{jk} - impedanţa tronsonului j de pe distribuitorul k;

$U_{adm\ i}$ - pierderea admisibilă de tensiune până la ultimul consumator de pe distribuitorul i;

i; θ_{ij} - element din matricea ce descrie incidenţa tronsoanelor cu distribuitorii (θ_{ij}=1, dacă tronsonul j aparţine distribuitorului i şi θ_{ij}=0 în caz contrar);

M_i - mulţimea distribuitorilor dintre sursa de alimentare şi distribuitorul i, inclusiv acesta;

ND - numărul de distribuitori din reţea;

T_{1i}, T_{2i} - primul, respectiv ultimul tronson al distribuitorului i;

T - durata de studiu (pentru exemplul prezentat T=*24 ore*).

Circulaţiile de curenţi pe fiecare tronson al reţelei se stabilesc folosind modele matematice şi algoritmi cunoscuţi [4]. În ceea ce priveşte modelarea sarcinilor din nodurile reţelei, s-a apelat la reprezentarea acestora cu ajutorul graficelor tip de sarcină, date sub formă de putere activă şi reactivă şi a unor măsurători de curenţi, efectuate direct în reţea, după relaţiile [6].

În raport cu principiile generale de aplicare a AG care au fost descrise la pct.1, implementarea

AG pentru problema debuclării optime a reţelelor de distribuţie prezintă unele particularităţi pe care le vom descrie în continuare.

Pentru o configuraţie a reţelei şi un număr de puncte de alimentare date, numărul punctelor de secţionare care asigură debuclarea reţelei şi alimentarea tuturor consumatorilor este o constantă:

$$N_{sec} = NS + NC - 1, \qquad (5)$$

unde :

N_{sec} este numărul punctelor de secţionare;
NS - numărul surselor;
NC - numărul de cicluri independente din graful reţelei.

Prin urmare, orice soluţie admisibilă a problemei considerate va conţine N_{sec} elemente, care vor indica tronsoanele din reţea ce trebuie deconectate. Pentru cazul din figura 4, $NS=2$, $NC=5$, deci $N_{sec}=2+5-1=6$.

Reprezentarea soluţiilor admisibile în cadrul algoritmului genetic foloseşte un lanţ dublu de cromozomi, de lungime $2 \times N_{sec}$, a cărui structură este descrisă mai jos pentru cazul particular al reţelei din figura 4.

face după principiul ruletei, în felul următor. Pentru fiecare cromozom c se calculează ponderea procentuală în ansamblul populaţiei, din punctul de vedere al funcţiei de adaptare, după modelul descris la pct.1. Aceste ponderi sunt ordonate crescător, astfel încât, dacă se notează cu $P(c)$ ponderile după ordonare: $P(1)<P(2)< \ldots <P(NP)$. Urmează construirea ruletei : aceasta se împarte în NP sectoare; unui sector i îi va reveni un domeniu cuprins între limitele $P(1)+P(2)+ \ldots +P(i-1)$ şi $P(1)+P(2)+ \ldots +P(i)$. În continuare se generează două numere aleatoare c_1 şi c_2 care urmează să desemneze cei doi cromozomi "părinţi". Se determină sectoarele ruletei care conţin pe c_1, respectiv c_2 între limitele asociate, fie acestea $P(p1)$ şi $P(p2)$. Cromozomii $p1$ şi $p2$ vor fi aleşi ca părinţi şi vor participa la operaţia de recombinare.

Având în vedere modul particular în care a fost definită structura unui cromozom, încrucişarea cromozomilor părinţi trebuie să se realizeze în două puncte, corespunzătoare distribuitorului, respectiv tronsonului pe care se realizează

D1	D2	D3	D4	D5	D6		T1	T2	T3	T4	T5	T6

Primele $N_{sec} = 6$ elemente din lanţ indică distribuitorii pe care se fac secţionările, iar ultimele $N_{sec} = 6$ elemente indică tronsoanele de pe fiecare dintre aceşti distribuitori pe care se realizează secţionarea propriu-zisă. De exemplu, lanţul :

secţionare. Astfel, se generează două numere aleatoare m şi n în intervalul $(1, N_{sec})$, iar cromozomii "urmaşi" C_c se construiesc folosind cromozomii "părinţi" C_p, conform regulei :

7-8	6-7	3-4	5-8	5-6	4-6		2	2	3	3	1	4

corespunde unei soluţii admisibile care se obţine prin deconectarea tronsoanelor 2,2,3,3,1 şi 4 de pe distribuitorii 7-8, 6-7, 3-4, 5-8, 5-6, respectiv 4-6.

Pentru fiecare generaţie soluţiile admisibile memorate în lanţurile cromozomiale sunt evaluate cu ajutorul funcţiei de adapatare :

$$f_c = \frac{1}{F_c}, \qquad (6)$$

unde F_c este valoarea funcţiei obiectiv din rel. (1) calculată pentru cromozomul c ($c=1,\ldots,NP$, NP - numărul total de cromozomi din populaţie).

Pentru faza evolutivă a procesului s-a aplicat o variantă în care etapele de reproducere şi recombinare se desfăşoară simultan, prin alegerea părinţilor şi recombinarea lor cu o anumită probabilitate. Alegerea cromozomilor "părinţi" se

$$C_{c1} = C_{p1}[1, m] \cup C_{p2}[m+1, N_{sec}] \cup C_{p1}[N_{sec} + 1, N_{sec}+n] \cup C_{p2}[N_{sec}+1, 2N_{sec}]$$

$$C_{c2} = C_{p2}[1, m] \cup C_{p1}[m+1, N_{sec}] \cup C_{p2}[N_{sec} + 1, N_{sec}+n] \cup C_{p1}[N_{sec}+1, 2N_{sec}].$$

Dacă cromozomii "urmaşi" nu reprezintă soluţii valide ale problemei (una dintre restricţii a fost încălcată), în generaţia următoare vor trece cromozomii "părinţi".

2.2. Rezultate numerice

Implementarea algoritmului genetic ale cărui principii au fost descrise mai sus s-a realizat pentru o reţea de medie tensiune ($U_n=20$ kV) a cărei schemă de principiu este prezentată în

figura 4. Reţeaua conţine : *NN=8* noduri; *NS=2* noduri sursă; *ND=12* distribuitori; *NC=47* consumatori; *NT=53* tronsoane.

Caracteristicile reţelei (tipurile consumatorilor, numărul lor, puterea nominală a transformatoarelor din posturi, lungimile distribuitorilor, secţiunile lor şi parametrii specifici fiecărei secţiuni) sunt prezentate în tabelele 1, 2 şi 3. Numerele de cod din tabelul 1 coincid cu cele indicate în figura 4 în dreptul fiecărui consumator.

Tabelul 1

Nr. cod	Tip consumatori	Nr. consumatori	S_n trafo [kVA]
1	Casnic urban	29	400
2	Magazine	8	250
3	Spital	1	630
4	PTTR	2	400
5	Liceu	1	250
6	Magazin universal	2	400
7	Hotel	1	400
8	Hală centrală	2	400
9	Staţie CFR	1	630

Tabelul 2

Distribuitor	Secţiune [mm^2]	Lungime [m]
1 - 3	185	6.800
3 - 4	120	3.300
4 - 5	150	5.900
5 - 2	185	5.000
2 - 8	185	7.200
7 - 8	120	4.100
1 - 7	185	7.000
6 - 7	150	4.000
3 - 6	120	3.000
4 - 6	150	3.800
5 - 6	150	4.200
5 - 8	150	4.800

Tabelul 3

Secţiune [mm^2]	I_{adm} [A]	r_0 [Ω/km]	x_0 [Ω/km]	b_0 [μS/km]
120	220	0.167	0.101	107.0
150	250	0.206	0.104	117.5
185	285	0.258	0.107	127.5

Pentru această reţea s-a urmărit determinarea secţionărilor care asigură valoarea minimă a pierderilor de energie pe durata unei zile. În acest scop s-a procedat la aplicarea AG descris, în mod repetat pentru diverse valori ale parametrilor AG, după cum urmează: populaţia (*NP=10, 20* sau *30*), rata de încrucişare (P_{inc} *=0.5, 0.6* sau *0.7*), rata mutaţiilor (P_{mut} *=0.01, 0.05* sau *0.1*) şi numărul de generaţii (*Gen=30* sau *40*). S-au efectuat, de asemenea, unele teste pentru un număr mai mare de generaţii (100 şi 200), însă s-a constatat că, pentru exemplul considerat creşterea numărului de generaţii (iteraţii) nu determină îmbunătăţirea soluţiei optime faţă de cazul a 30 sau 40 de generaţii. Acest lucru este normal, deoarece pentru dimensiunile problemei considerate, numărul relativ redus de combinaţii posibil a fi luat în consideraţie poate fi acoperit într-un număr mic de iteraţii numai pe seama operaţiilor de încrucişare şi mutaţie.

Analiza rezultatelor obţinute evidenţiază următoarele aspecte :

- valorile pierderilor minime de energie obţinute în toate situaţiile se cifrează în jurul valorii de 900 kWh, ceea ce reprezintă 0.55 % din energia vehiculată;
- cele mai bune rezultate au fost obţinute pentru o rată a mutaţiilor relativ înaltă $P_{mut}=0.1$, care asigură o diversificare semnificativă a populaţiei de la o generaţie la alta, într-un număr redus de iteraţii. Această valoare a ratei mutaţiilor este suficient de mică pentru a nu produce o evoluţie aleatorie a procesului;
- în privinţa ratei încrucişărilor P_{inc}, nu s-au constatat deosebiri semnificative în ceea ce priveşte influenţa valorii sale asupra rezultatelor.

În figurile 5-10 sunt reprezentate sub formă grafică, sintetic, rezultatele obţinute pentru câteva cazuri particulare privind valorile parametrilor AG. În toate situaţiile s-au folosit aceleaşi valori ale ratelor de încrucişare şi mutaţie ($P_{inc}=0.5$, respectiv $P_{mut}=0.1$), modificând populaţia (*NP=10, 20* sau *30*) şi numărul de generaţii (*Gen=30* sau *40*).

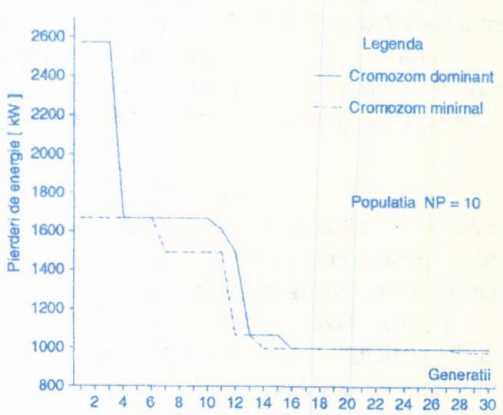


Fig.5.

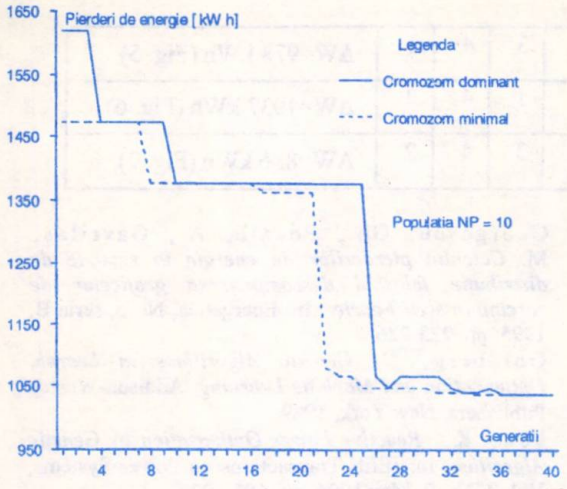


Fig.6.

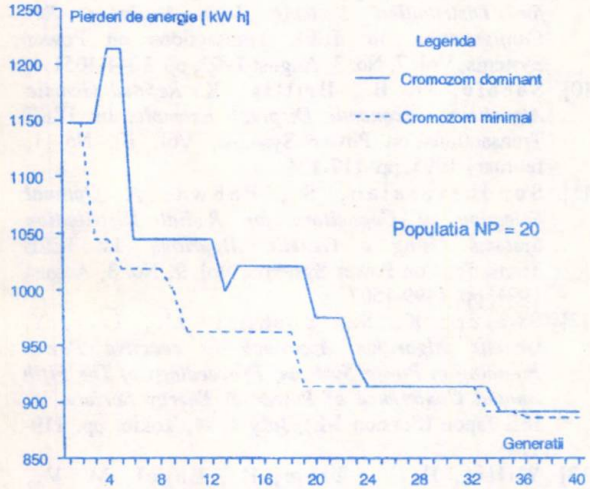


Fig.7.

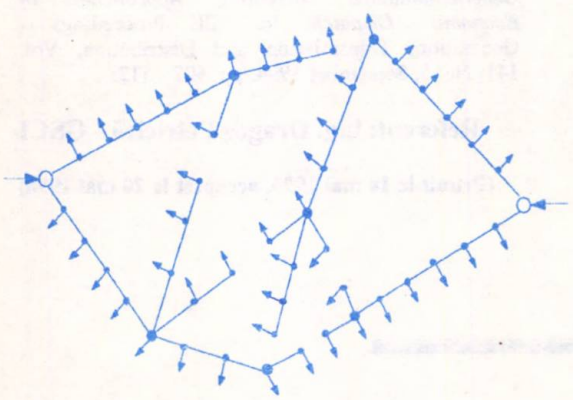


Fig. 8

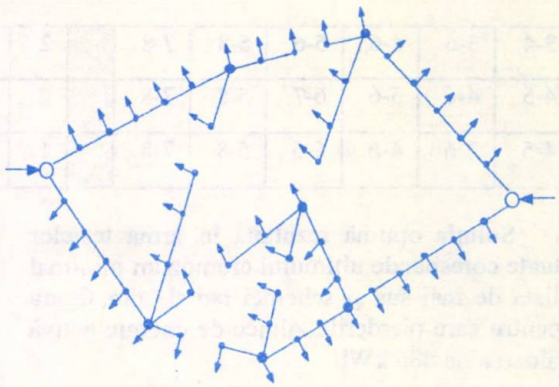


Fig. 9.

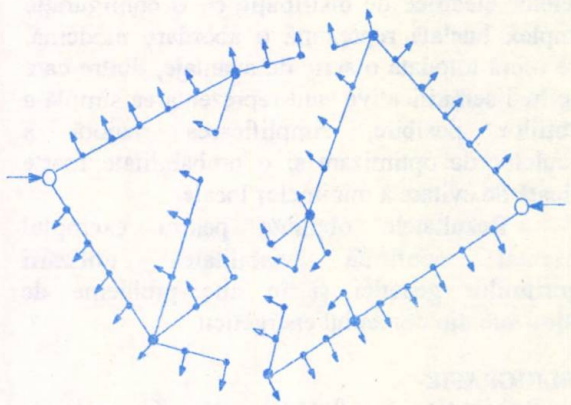


Fig.10.

Fig. 5-7 descriu evoluţia pierderilor de energie pentru cromozomul dominant în generaţia curentă şi cel minimal pentru fiecare generaţie. Se constată că există o evoluţie relativ conformă a celor două curbe, în sens descrescător. Încercările efectuate pentru un număr mai mare de generaţii au arătat că, începând de la generaţia 40-50 se produce o stabilizare a procesului evolutiv, în sensul în care cromozomul dominant este în acelaşi timp şi minimal. Acest lucru indică o stabilizare a procesului într-un minim local sau, eventual, în minimul global.

Soluţiile corespunzătoare cromozomilor minimali din ultima generaţie pentru fiecare din procesele descrise în figurile 5-7 sunt prezentate în figurile 8 - 10 şi corespund cromozomilor şi pierderilor zilnice de energie de mai jos :

3-4	3-6	4-6	5-6	5-8	7-8		2	2	1	3	4	1	ΔW=978 kWh (Fig. 5)
4-5	4-6	5-6	6-7	5-8	7-8		2	3	2	1	4	2	ΔW=1037 kWh (Fig. 6)
4-5	3-6	4-6	5-6	5-8	7-8		1	2	3	3	4	2	ΔW=886 kWh (Fig. 7)

Soluţia optimă rezultată în urma testelor efectuate corespunde ultimului cromozom minimal din lista de mai sus şi schemei radiale din figura 10, pentru care pierderile zilnice de energie activă au valoarea de 886 kWh.

Concluzii

Folosirea algoritmilor genetici în vederea determinării schemelor optime de funcţionare ale reţelelor electrice de distribuţie cu o configuraţie complex buclată reprezintă o abordare modernă, care oferă totodată o serie de avantaje, dintre care cele mai semnificative sunt reprezentarea simplă a soluţiilor posibile, simplificarea majoră a calculelor de optimizare şi o probabilitate foarte ridicată de evitare a minimelor locale.

Rezultatele obţinute pentru exemplul prezentat confirmă viabilitatea utilizării algoritmilor genetici şi în alte probleme de optimizare din domeniul energeticii.

BIBLIOGRAFIE

[1] Bakirtzis, A., Petridis, V., Kazarlis, S. *Genetic Algorithm Solution to The Economic Dispatch Problem.* In: IEE Proceedings - Generation, Transmission and Distribution, Vol. 141, No. 4, July 1994, pp. 377-382.

[2] Buckles, B. P., Petry, F. E. *Genetic Algorithms.* In: IEEE Computer Society Press, 1991, pp. 5-11.

[3] Dasgupta, D., McGregor, D. R. *Thermal Unit Commitment Using Genetic Algorithms.* In: IEE Proceedings - Generation, Transmission and Distribution, Vol. 141, No. 5, September 1994, pp. 459-465.

[4] Eremia, M., Crişciu, H., Ungureanu, B., Bulac, C. *Analiza asistată de calculator a regimurilor sistemelor electroenergetice.* Editura Tehnică, Bucureşti, 1985.

[5] Frenzel, J. F. *Genetic Algorithms* - A New Breed of Optimization. In: IEEE Potentials, No. 3, October 1993, pp. 21-24.

[6] Georgescu, Gh., Poeată, A., Gavrilaş, M. *Calculul pierderilor de energie în reţelele de distribuţie folosind descompunerea graficelor de sarcină în serii Fourier.* In: Energetica, Nr. 5, seria B, 1995, pp. 223-226.

[7] Goldberg, D. *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning,* Addison-Wesley Publishers, New York, 1989.

[8] Iba, K. *Reactive Power Optimization by Genetic Algorithm.* In: IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 9, No. 2, May 1994, pp. 685-692.

[9] Nara, K., Shiose, A., Kitagawa, M., Ishihara, T. *Implementation of genetic Algorithm for Distribution Systems Loss Minimum Re-Configuration.* In: IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 7, No. 3, August 1992, pp. 1044-1051.

[10] Sheble, G. B., Brittig, K. *Refined Genetic Algorithm - Economic Dispatch Example.* In: IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 10, No. 1, february 1995, pp. 117-124.

[11] Sundhararajan, S., Pahwa, A. *Optimal Selection of Capacitors for Radial Distribution Systems Using a Genetic Algorithm.* In: IEEE Transations on Power Systems, Vol. 9, No. 3, August 1994, pp. 1499-1507.

[12] Swarup, K. S., Yoshimi, M., Izui, Y. *Genetic Algorithm Approach to reactive Power Planning in Power Systems; Proceedings of The Fifth Annual Conference of Power & Energy Society.* In: IEE Japon (Session I-E), July 1994, Tokio, pp. 119-124.

[13] Willis, H. L., Tram, H., Engel, M. V., Finley, L. *Selecting and Applying Distribution Optimization Methods.* In: IEEE Computer Applications in Power, Vol. 9, No. 1, January 1996, pp. 12-17.

[14] Wong, K. P., Wong, Y. W. *Genetic and Genetic/Simulated Annealing Approaches to Economic Dispatch.* In: IEE Proceedings - Generation, Transmission and Distribution, Vol. 141, No. 5, September 1994, pp .507 - 512.

Referent: ing. Dragoş Petricică - GSCI

(Primit la 14 mai 1996, acceptat la 20 mai 1996)

MODEL MATEMATIC ŞI METODĂ DE REZOLVARE PENTRU PROGRAMAREA FUNCŢIONĂRII OPTIME A SISTEMULUI ENERGETIC NAŢIONAL (SEN), PE PERIOADE MEDII DE TIMP

conf. dr. ing. GABRIEL BAZACLIU *, prof. dr. ing. THEODOR MICLESCU*,
dr. ing. JEAN CONSTANTINESCU**, ş. l. ing. VIRGIL DUMBRAVĂ*.

Articolul prezintă un model matematic original şi o metodă de rezolvare pentru programarea funcţionării optime a sistemului energetic naţional pe perioada unui an, utilizând metoda programării dinamice.

Modelul matematic urmăreşte minimizarea valorii medii a cheltuielilor pe perioada unui an, care constau din cheltuielile de pornire, cheltuielile de funcţionare şi cele de revizie/reparaţie, în condiţiile respectării restricţiilor referitoare la acoperirea sarcinii, asigurarea rezervei, îndeplinirea normelor de revizie/reparaţie, limitele de funcţionare ale grupurilor, limitările de combustibili şi fiabilitatea grupurilor. Prognoza cererii de putere este presupusă ca fiind o variabilă aleatoare discretă cu funcţia de distribuţie de probabilitate cunoscută.

Soluţia optimă este calculată pentru un sistem mixt, care conţine centrale termoelectrice şi centrale hidroelectrice. Prezentul articol propune un model probabilist al energiei hidroelectrice generate. Modelul matematic include şi alte aspecte probabiliste.

The paper presents an original mathematical model and a solution method to solve the unit commitment problem in the national power system over a year, by means of a dynamic programming method.

The mathematical model minimizes the total expected cost over a year, which consists of the start-up cost, unit operation and maintenance costs, subject to the demand, reserve requirements, unit maintenance, generating unit capability limits, fuel and reliability constraints. The demand forecast is assumed to be a discrete random variable with a known probability distribution function.

The optimal solution is computed for an integrated system, which consists of thermal and hydro plants. The present paper proposes a probabilistic model of the generated hydro energy. The model also includes other probabilistic aspects.

Descriptori: model matematic probabilist, programare dinamică, optimizarea funcţionării SEN

Introducere

Soluţia optimă a funcţionării sistemului energetic pe durata unui an trebuie să indice în condiţiile minimizării cheltuielilor totale pe sistem:

- perioadele de funcţionare, momentele de oprire şi pornire pentru fiecare agregat din centralele electrice ale sistemului energetic, ţinând seama de opririle obligatorii pentru revizii şi reparaţii conform normelor existente,
- modul de folosire a resurselor hidraulice şi a combustibililor, precum şi
- importul necesar de energie electrică sau combustibili, atunci când resursele interne nu pot satisface cererea de energie a consumatorilor.

Dată fiind importanţa economică şi dificultatea rezolvării acestei probleme, în literatura de specialitate au fost publicate numeroase articole consacrate acestui domeniu. Ele abordează modele matematice extrem de variate, pornind de la cele mai simple modele deterministe de programare a funcţionării optime pe termen scurt numai a grupurilor termo ale sistemului şi terminând cu modele complexe probabilistice de planificare a funcţionării optime pe termen lung a grupurilor dintr-un sistem mixt, conţinând centrale termoelectrice şi centrale hidroelectrice, cu luarea în considerare a opririlor planificate pentru revizii/reparaţii. Corespunzător acestor modele matematice sunt propuse şi metode adecvate de rezolvare.

În [1, 2] sunt prezentate primele formulări de modele matematice şi posibilităţi de rezolvare ale problemei. Aplicarea metodei clasice a programării dinamice pentru rezolvarea planificării funcţionării optime pe termen scurt a grupurilor termo ale sistemului energetic, fără luarea în consideraţie a opririlor pentru revizii/reparaţii

*) Universitatea "Politehnica" Bucureşti.
**) Grupul de Studii, Cercetări şi Inginerie - GSCI

planificate, a fost expusă în [3], iar în [4] este prezentată o metodă îmbunătăţită de rezolvare. În scopul reducerii dimensionalităţii problemei de programare dinamică a fost propusă metoda listelor de priorităţi [5,6], care stabileşte o ordine referitoare la luarea în considerare a grupurilor. Alte metode de rezolvare a problemei citate în literatura de specialitate sunt: metoda programării dinamice combinată cu tehnici din programarea lineară [7,8], metoda relaxării Lagrangeanului [9,10], metoda "Branch and Bound" [11], algoritmul de descompunere al lui Benders pentru probleme de programare mixtă [12], metode de programare în numere întregi [13].

În prezentul articol este expus un model matematic original pentru determinarea programării funcţionării optime a sistemului energetic pe perioade medii de timp (un an), rezolvabil prin metoda programării dinamice.

1. Punerea problemei

O trăsătură esenţială a modelului constă în discretizarea intervalului de timp pentru care se face planificarea - un an - într-un număr de intervale, de durate egale, numite "paşi de timp". Durata aleasă a pasului de timp este săptămâna. Se va nota cu $MT = \{1,2,...,T\}$ mulţimea paşilor de timp şi cu t un element oarecare al acestei mulţimi $t \in MT$. Pentru un an de zile $T = 52$.

În continuare este prezentată, pe scurt, modelarea principalelor elemente ale SEN care sunt luate în considerare în modelul matematic. O prezentare detaliată a acestor elemente se găseşte în [14, 15].

1.1. Ipoteze

1.1.1. Pentru fiecare pas de timp (săptămână) curba de sarcină este aproximată cu ajutorul palierelor de putere constantă. Notăm cu MJ= {1,2,...,J} mulţimea indicilor j (j ∈ MJ) ai tuturor palierelor curbei de sarcină şi cu t_j durata unui palier. În cursul zilelor ce compun un pas de timp se observă o asimetrie accentuată a sarcinii. Există un grup de cinci zile - zilele lucrătoare ale săptămânii - cu sarcina mai mare şi cu alura de variaţie a sarcinii asemănătoare şi un alt grup de două zile - zilele de sâmbătă şi duminică - în care sarcina maximă este mult mai redusă. Sarcina mult redusă din zilele de odihnă impune ca o parte din grupurile aflate în funcţiune la începutul intervalului de timp (în zilele de lucru) să fie oprite pe parcursul zilelor libere.

1.1.2. Cererea de putere pe fiecare palier j al curbei de sarcină are un caracter aleator, care este descris de o funcţie discretă de repartiţie a densităţii de probabilitate. Pentru fiecare pas de timp t şi pentru fiecare palier j, se va considera că cererea de putere $PC_{t,j}$ poate lua un număr finit de valori $PC_{t,j,q}$ cu probabilitatea $p_{t,j,q}$. Notăm cu MQ ={1,2,...,Q} mulţimea indicilor q (q ∈ MQ) ai valorilor discrete pe care le poate lua cererea de putere $PC_{t,j}$.

1.1.3. Puterea electrică a grupurilor cu contrapresiune - fixată de către valoarea sarcinii termice - este considerată cunoscută şi este decupată din curba de sarcină a puterii cerute de către consumator.

1.1.4. Caracteristicile de consum orar de combustibil, respectiv cele de cheltuieli orare ale grupurilor cu condensaţie sunt folosite sub forma lor linearizată. O asemenea caracteristică se compune din două segmente de dreaptă cu înclinări diferite, limitate de puterea minimă tehnică şi puterea economică, respectiv puterea economică şi cea maximă.

1.1.5. Grupurile cu condensaţie şi prize reglabile, la care există posibilitatea de reglare a sarcinii electrice între anumite limite, pot fi tratate ca şi grupurile cu condensaţie, caracteristica de funcţionare fiind însă dependentă de regimul consumatorului termic alimentat de la prizele de abur. Caracteristica este liniarizată pe o singură porţiune între minim şi maxim.

1.1.6. Opririle pentru reviziile/reparaţiile anuale (2-3 săptămâni) şi perioadele de funcţionare (40-42 de săptămâni) dintre ele formează un ciclu, care se încheie întotdeauna după un număr de ani cu o reparaţie capitală (4-6 săptămâni). În timpul perioadelor de funcţionare grupurile au o anumită probabilitate de defectare, $p_{g,c}$, care în general, poate varia în timp. În urma unei reparaţii capitale la încheierea unui ciclu de funcţionare, grupul este readus la aceeaşi probabilitate de defectare ca cea în urma reparaţiei capitale din ciclul anterior, indiferent de numărul ciclurilor.

1.1.7. CHE pe firul apei sunt considerate ca un grup unic echivalent. Pentru acest grup se cunosc pentru fiecare pas de timp valoarea medie a puterii produse şi dispersia acestei puteri, aşa cum rezultă din studiile de prognoză a hidraulicităţii. Legea de distribuţie este considerată normală. Curba de sarcină este redusă pe fiecare palier cu puterea corespunzătoare acestui grup. Scăderea

celor două mărimi se face ca pentru două variabile aleatoare, având legea de distribuţie normală.

1.1.8. Cantitatea de energie care se produce în CHE cu posibilităţi de acumulare are un caracter aleator şi pentru această mărime se consideră o repartiţie normală pentru care se cunosc valoarea medie $\overline{W}_H$ şi dispersia σ_{W_H}. În această ipoteză există o cantitate de energie electrică $W_{H,\min}$ care se produce cu o probabilitate foarte mare (aproximativ 1) şi o cantitate maximă de energie hidroelectrică ce s-ar putea produce, $W_{H,\max}$.

$$W_{H,\min} = \overline{W}_H - 3 \cdot \sigma_{W_H}, \qquad (1)$$

$$W_{H,\max} = \overline{W}_H + 3 \cdot \sigma_{W_H}. \qquad (2)$$

În continuare pentru energia hidroelectrică produsă de CHE cu acumulare vom utiliza şi prescurtarea EHE. Cantitatea maximă de EHE care poate fi produsă, $W_{H,\max}$, este discretizată într-un număr de cuante de EHE, fiecare cuantă având aceeaşi valoare a energiei W_1. Pentru un anumit pas de timp se pot consuma nici una, una, două sau mai multe cuante de EHE.

Se notează cu N, N_1, N_a numărul maxim de cuante de EHE, numărul minim de cuante de EHE, respectiv numărul de cuante de EHE cu caracter aleator care pot apărea într-un an şi cu $MN = \{1,2,...,N\}$, $MN_1 = \{1,2,...,N_1\}$, $MN_a = \{(N_1+1), (N_1+2), ..., N\}$ mulţimea tuturor cuantelor de EHE care pot fi produse într-un an, mulţimea cuantelor care apar în mod sigur, respectiv mulţimea cuantelor de EHE cu caracter probabilist. Vom avea relaţiile

$$N = \frac{W_{H,\max}}{W_1}; \qquad N_1 = \frac{W_{H,\min}}{W_1}; \qquad N_a = N - N_1. \qquad (3\ a,b,c)$$

Se consideră că apariţia energiei hidroelectrice cu valori mai mici decât $W_{H,\min}$ este sigură şi probabilitatea de apariţie a acestui eveniment poate fi considerată ca fiind aproximativ egală cu 1, iar apariţia energiei hidroelectrice cu valori mai mari decât $W_{H,\max}$ este imposibilă şi probabilitatea de apariţie a acestui eveniment poate fi considerată ca fiind aproximativ egală cu zero. În conformitate cu cele spuse anterior probabilitatea de apariţie a cuantei n de EHE este :

$p_n = 1$ dacă $n \in MN_1$; $p_n \in (0,1)$ dacă $n \in MN_a$ şi $p_n = 0$ dacă $n > N$. $(4\ a,b,c)$

1.1.9. Pe fiecare pas de timp energia hidroelectrică produsă în CHE cu acumulare se decupează din zona superioară a curbei de sarcină, CHE acoperind zona puterilor de vârf.

1.1.10. Pentru obţinerea unei funcţionări cu cheltuieli minime trebuie să se planifice consumul întregii cantităţi de EHE care poate fi produsă în CHE cu acumulare.

1.1.11. Schimbarea stării de funcţionare a unui agregat poate avea loc numai la începutul unui pas de timp. Fac excepţie de la această regulă numai grupurile care se opresc la sfârşitul săptămânii.

1.2. Structura centralei

Modelarea structurii grupurilor dintr-o centrală termoelectrică se poate face uşor cu ajutorul unui vector ale cărui componente sunt variabile binare (booleene). Ele pot lua doar valorile $m_{g,c}=1$, dacă grupul g din centrala c este în funcţiune sau $m_{g,c}=0$ dacă grupul nu este în funcţiune (oprit din alte cauze decât revizie/reparaţie). În general, dacă nu există nici o restricţie, pentru o centrală care are G(c) grupuri vom avea maxim $2^{G(c)}$ structuri posibile.

1.3. Definirea unei decizii

O decizie este definită prin $D_{d,h}=\{ST_d, DH_h\}$, $d \in MD$, $h \in MH$, în care ST_d este structura grupurilor din centralele termoelectrice, numită pe scurt structura termo (sau decizia termo) pentru întregul sistem, iar DH_h este cantitatea de EHE produsă în CHE numită pe scurt decizia hidro cu h cuante de EHE.

$MD = \{1,2,...,D\}$ desemnează mulţimea tuturor deciziilor termo pe sistem, iar $MH = \{0,1,...,H\}$ este mulţimea tuturor deciziilor hidro care pot fi asociate deciziei termo ST_d. D reprezintă numărul maxim de decizii termo, iar H este numărul maxim de cuante de EHE care pot fi consumate pe un pas de timp. d desemnează o decizie termo oarecare din mulţimea MD. Numărul total de decizii pe un pas de timp t este $D \cdot (H+1)$.

Energia hidroelectrică ce poate fi produsă pe un pas de timp t atunci când se consumă h cuante de EHE va fi:

$$DH_h = WH_{h,t} = h \cdot W_1; \qquad h \in MH. \qquad (5)$$

Deoarece în zilele de sărbătoare sarcina este mult redusă faţă de zilele de lucru, în aceste zile este necesară oprirea unor grupuri dintre cele aflate în funcţiune în zilele de lucru în acelaşi pas de

timp. Decizia de funcţionare în zilele de odihnă se obţine din cea pentru zilele de lucru prin modificarea structurii termo.

1.4. Caracterizarea stării

Pentru un anumit pas de timp se poate lua un număr de decizii realizabile din mulţimea tuturor deciziilor teoretic posibile $D_{d,h}$, $d \in D$, $h \in MH$. Istoria funcţionării sistemului energetic pentru intervalul de planificare este o succesiune de hotărâri de funcţionare (decizii), egală numeric cu numărul total de paşi de timp.

Succesiunea de hotărâri de la începutul anului până la un anumit moment dat t este o succesiune de hotărâri de funcţionare egală numeric cu numărul total de paşi de timp parcurşi. Succesiunea de hotărâri (decizii) de la începutul anului până la un anumit moment dat este o subistorie sau substrategie a funcţionării sistemului energetic (SE). La sfârşitul unei subistorii SE se află într-o anumită stare. O stare i oarecare la sfârşitul pasului t, notată cu $S_{i,t}$, va fi caracterizată de

$S_{i,t} = \{EHE_{t,i}, QK_{t,i,k}, TF_{t,i,g,c}, GS_{t,i,g,c}, CT_{t,i}, DL_{d,h}, DS_{d,h}\}$,

$t \in MT$, $i \in MI_t$, $k \in MK$, $c \in MC$, $g \in MG(c)$, $h \in MH$, $d \in MD$, (6)

în care:

$$[MIN]\ C = \begin{cases} \sum_{t=1}^{T} C_t\left(D_{d,h}\right), & d \in MD,\ h \in MH,\ \text{dacă } \left(n_x + h\right) \in MN_1 \quad (7\ a) \\ \sum_{t=1}^{T} \sum_{z=z_0}^{h} p_z \cdot C_t\left(D_{d,z}\right), & d \in MD,\ h \in MH,\ \text{dacă } \left(n_x + h\right) \in MN_a \quad (7\ b) \end{cases}$$

$EHE_{t,i}$ - cantitatea de apă consumată de SE în starea i, la sfârşitul pasului t;

$QK_{t,i,k}$ - cantitatea de combustibil din sortimentul k, consumată în starea i, la sfârşitul pasului t;

$TF_{t,i,g,c}$ - numărul de ore de funcţionare ale generatorului g, din centrala c, în starea i de la sfârşitul pasului t;

$GS_{t,i,g,c}$ - situaţia din punctul de vedere al reviziei/reparaţiei generatorului g, din centrala c, în starea i de la sfârşitul pasului t. Acest indicator ne arată dacă grupul este sau nu în revizie/reparaţie, numărul reviziei/reparaţiei înaintea căreia se află grupul sau al reviziei/reparaţiei în curs de desfăşurare;

$CT_{t,i}$ - cheltuielile totale pe sistem ale stării i, de la sfârşitul pasului de timp ;

$MI_t = \{1,2,...,I\}$ - mulţimea stărilor la sfârşitul pasului de timp t şi $i \in MI_t$ un element al acestei mulţimi;

$DL_{d,h}$, $DS_{d,h}$ - decizia corespunzătoare hotărârii de funcţionare în zilele de lucru, respectiv în cele de sărbătoare care a condus la apariţia stării i, la sfârşitul pasului t ;

$MC=\{1,2,...C\}$ este mulţimea centralelor din sistem ; C este numărul de centrale din sistem;

$MG(c)=\{1,2,...G(c)\}$ este mulţimea grupurilor din centrala c; G(c) este numărul de grupuri din centrala c;

$MK=\{1,2,...K\}$ este mulţimea indicilor k ($k \in MK$) ai tuturor sortimentelor de combustibil utilizate separat sau în amestec; K este numărul total de sorturi de combustibil pe sistem.

2. Modelul matematic

2.1. Funcţia obiectiv

După cum s-a menţionat, funcţia obiectiv a probiemei o constituie cheltuielile totale de funcţionare pe sistem, a căror minimizare se doreşte. Ţinând seama de discretizarea efectuată, funcţia obiectiv poate fi scrisă sub forma:

Cheltuielile totale date de relaţia (7 *b*) reprezintă o valoare medie a cheltuielilor, ţinând seama de caracterul aleator al hidraulicităţii.

$C_t(D_{d,h})$ includ cheltuielile totale ocazionate la pasul t de funcţionarea SE, datorită deciziei $D_{d,h}$. Cheltuielile totale pentru un pas de timp oarecare t sunt de forma:

$$C_t(D_{d,h}) = C_t(S_{x,t-1}, D_{d,h}), \quad (8\ a)$$

sau

$$C_t(D_{d,h}) = C_t(S_{x,t-1}, S_{y,t}), \quad (8\ b)$$

cu

$$C_t(D_{d,h}) = CP(S_{x,t-1}, S_{y,t}) + CRR(S_{x,t-1}, S_{y,t}) + CFA(D_{d,h}). \quad (9)$$

Semnificaţia notaţiei din paranteză este aceea că se trece din starea x de la pasul (t-1) în starea y la pasul t, prin intermediul deciziei $D_{d,h}$. După necesităţi vor fi utilizate notaţiile (8.*a*) sau (8.*b*) în scopul unei mai bune înţelegeri a modelării. În relaţia (9) au fost introduse următoarele mărimi:

$CP(S_{x,t-1}, S_{y,t})$ - cheltuielile de pornire ale tuturor grupurilor care în starea x de la pasul t-1 erau oprite, iar în starea y la pasul t intră în funcţiune, prin decizia $D_{d,h}$ de trecere de la starea x, $x \in MI_{t-1}$, la starea $y \in Mi$, ;

$CRR(S_{x,t-1},S_{y,t})$ - cheltuielile de revizie/ reparaţie ale tuturor grupurilor care în trecerea de la starea x, $x \in MI_{t-1}$, la starea y, $y \in MI_t$, prin decizia $D_{d,h}$ îşi încheie revizia/reparaţia ;

$CFA(D_{d,h})$ - cheltuielile de funcţionare pentru toate grupurile sistemului care în decizia $D_{d,h}$ sunt în funcţiune.

Mărimile din relaţia (9) se calculează cu relaţiile:

$$CP\left(S_{x,t-1}, D_{d,h}\right) = \sum_{c\in MC} \sum_{g\in MG(c)} f_{3,g,c} \cdot CPORN_{g,c};$$

$$d \in MD, h \in MH, x \in MI_{t-1} \qquad (10)$$

$$CRR\left(S_{x,t-1}, D_{d,h}\right) = \sum_{c\in MC} \sum_{g\in MG(c)} CRREP_{g,c};$$

$$d \in \cdot\cdot MD, h \in MH, x \in MI_{t-1} \qquad (11)$$

$$CFA\left(D_{d,h}\right) = A_0 \cdot CF\left(D_{d,h}\right) +$$

$$+ \sum_{c\in MC} \sum_{g\in MG(c)} A_{g,c} \cdot CA_{g,c}\left(D_{d,h}\right); d \in MD, h \in MH \qquad (12)$$

$$CF\left(D_{d,h}\right) = \sum_{c\in MC} \sum_{g\in MG(c)} \cdot \sum_{k\in MK} cb_k \cdot$$

$$\cdot pb_{k,g,c} \sum_{q\in MQ} \sum_{j\in MJ} p_{t,j,q} \cdot m_{d,g,c} B_{g,c}\left(P_{t,d,g,c,j,q,h}\right) \cdot t_j \qquad (13)$$

$$CA_{g,c}\left(D_{d,h}\right) = \sum_{v\in MC} \sum_{\substack{u\in MG(v) \\ u\neq g}} \sum_{k\in MK} cb_k \cdot$$

$$\cdot pb_{k,u,v} \sum_{q\in MQ} \sum_{j\in MJ} p_{t,j,q} \cdot m_{d,u,v} \cdot B_{g,c}\left(P_{t,d,u,v,j,q,h}\right) \cdot t_j \qquad (14)$$

$$f_{3,g,c} = \begin{cases} 1 \text{ dacă } m_{d,g,c} > m_{x,g,c} \\ 0 \quad \text{altfel} \end{cases} \qquad (15)$$

$$d \in MD, h \in MH, x \in MI_{t-1}$$

$$A_0 = \prod_{\substack{c\in MC \\ g\in MG(c)}} \left(1 - p_{g,c}\right); \quad A_{g,c} = A_0 \frac{p_{g,c}}{1 - p_{g,c}};$$

$$c \in MC, g \in MG(c) \qquad (16\ a,b)$$

Semnificaţiile notaţiilor introduse sunt:

$CF(D_{d,h})$ - cheltuielile de funcţionare în decizia $D_{d,h}$, în ipoteza că toate generatoarele sunt în funcţiune ;

$CA_{g,c}(D_{d,h})$ - cheltuielile de funcţionare în decizia $D_{d,h}$ în ipoteza că generatorul g din centrala c este în avarie; g∈MG(c); c∈MC. Acestea reprezintă valoarea medie a cheltuielilor, ţinând seama de disponibilitatea grupurilor în funcţiune;

$CPORN_{g,c}$ - cheltuielile de pornire ale grupului g din centrala c, care porneşte la trecerea din starea $S_{x,t-1}$ la starea $S_{y,t}$, prin decizia $D_{d,h}$. Costul şi consumul de pornire sunt considerate constante;

$CRREP_{g,c}$ - cheltuielile de revizie/reparaţie, ale grupului g, din centrala c, care îşi încheie revizia / reparaţia "r" la trecerea din starea $S_{x,t-1}$, la starea $S_{y,t}$ prin decizia $D_{d,h}$;

$P_{t,d,g,c,j,q,h}$ - valoarea puterii cu care se încarcă grupul g, din centrala c, în decizia d, din pasul de timp t, pe palierul j al curbei de sarcină pentru valoarea cu numărul de ordine q a sarcinii palierului, atunci când se produc h cuante de EHE;

$B_{g,c}(P_{t,d,g,c,j,q,h})$ consumul orar de combustibil convenţional corespunzător puterii $P_{t,d,g,c,j,q,h}$;

A_0 - probabilitatea ca toate grupurile utilizabile în decizia $D_{d,h}$ să fie în funcţiune;

$A_{g,c}$ - probabilitatea ca grupul g din centrala c, în funcţiune în decizia $D_{d,h}$, să fie în avarie;

$m_{d,g,c}$ - indicatorul de funcţionare al grupului g din centrala c, în decizia d, din pasul de timp t;

$m_{x,g,c}$ - indicatorul de funcţionare al grupului g din centrala c, în starea $S_{x,t-1}$, în care s-a găsit sistemul în pasul de timp t-1, la care se alipeşte decizia $D_{d,h}$;

cb_k, $pb_{k,g,c}$ - costul unitar, respectiv proporţia, în unităţi relative pentru sortimentul k de combustibil utilizat în amestec cu alţi combustibili de agregatul g din centrala c.

Probabilităţile A_0 şi $A_{g,c}$, $g \in MG(c)$, $c \in MC$ trebuie să formeze un sistem complet de evenimente, deci să îndeplinească o relaţie de forma:

$$A_0 + \sum_{c \in MC} \sum_{g \in MG(c)} A_{g,c} = 1 \,. \qquad (17)$$

Notând

$$A'_0 = \frac{A_0}{S} \; ; \quad A'_{g,c} = \frac{A_{g,c}}{S} \,, \qquad (18\,a,b)$$

$$S = A_0 + \sum_{c \in MC} \sum_{g \in MG(c)} A_{g,c} \qquad (19)$$

se poate verifica uşor că noile probabilităţi introduse prin relaţiile (18 *a,b*) îndeplinesc relaţia (17). În consecinţă, în relaţii se folosesc A'_0 şi $A'_{g,c}$, în loc de A_0 şi $A_{g,c}$, $g \in MG(c)$; $c \in MC$.

Vom examina în continuare trei cazuri :

a) Presupunem că până în starea $S_{x,t-1}$ au fost consumate n_x cuante de EHE, $n_x \in MN_1$, iar numărul maxim de cuante de EHE corespunzătoare deciziei $D_{d,h}$ este astfel încât $(n_x + h) \in MN_1$. În această situaţie cheltuielile se calculează cu relaţia (7 *a*).

b) Presupunem că până în starea $S_{x,t-1}$ au fost consumate n_x cuante de EHE, $n_x \in MN_1$. Fie h numărul maxim de cuante de EHE din decizia $D_{d,h}$ (h valoare cunoscută, $h > 0$), astfel încât $n_x + h \in MN_a$. Fie:

$$z_o = N_1 - n_x \,. \qquad (20)$$

Trecerea de la starea cu $n_x + z_o$ cuante de EHE la cea cu $n_x + h$ cuante de EHE se poate face numai dacă în sistem apar succesiv $(n_x + z_o)$, $(n_x + z_o + 1)$,...,$(n_x + h)$ cuante de EHE, deoarece, de exemplu, $n_x + 2$ cuante de EHE nu pot apărea dacă nu au apărut $n_x + 1$ cuante de EHE etc. În această situaţie, valoarea medie a cheltuielilor se calculează cu o relaţie de forma (7 *b*)

Fie p_z - probabilitatea de apariţie a $n_x + z$ cuante de EHE, $z = z_0, (z_0 + 1), \ldots, h$.

Definim

$$p'_z = \frac{p_z}{S_h} \qquad z = z_0, (z_0 + 1), \ldots, h \,, \qquad (21)$$

cu

$$S_h = \sum_{z=z_0}^{h} p_z \,, \qquad (22)$$

care formează un sistem complet de evenimente, deoarece pentru aceste probabilităţi este îndeplinită relaţia:

$$\sum_{z=z_0}^{h} p'_z = 1. \qquad (23)$$

În consecinţă, în relaţii se folosesc p'_z în loc de p_z.

c) Presupunem că până în starea $S_{x,t-1}$ au fost consumate n_x cuante de EHE, $n_x \in MN_a$. Evident $(n_x + h) \in MN_a$. Cazul c) se observă că este un caz particular al cazului b) pentru $z_0 = 0$.

2.2. Restricţiile modelului matematic

Restricţiile modelului matematic corespund realizării următoarelor obiective :

2.2.1. Acoperirea cererii consumatorilor. În fiecare pas de timp *t*, pe fiecare palier j al curbei de sarcină săptămânale trebuie să se acopere valoarea treptei aleatoare q a puterii cerute de sistem $P_{t,j,q,h}$, după ce din curba de sarcină s-a scăzut:

- puterea totală furnizată de către grupurile cu contrapresiune,
- puterea furnizată de către CHE pe firul apei,
- puterea furnizată de către CHE cu lac de acumulare atunci când se produc h cuante de EHE;
- puterea consumatorilor sacrificaţi, dacă acest lucru apare ca necesar.

$$\sum_{c \in MC} \sum_{g \in MG(c)} m_{d,g,c} \, P_{t,d,g,c,j,q,h} = PC_{t,j,q,h} - (\lambda/100) \cdot s \cdot PC_{t,max,h} \,,$$

cu

$t \in MT$, $h \in MH$, $d \in MD$, $j \in MJ$, $q \in MQ$, (24)

unde:

λ reprezintă valoarea procentuală maximă a cererii de putere nelivrate;

$PC_{t,max,h}$ - valoarea maximă a puterii cerute în pasul de timp *t* pe curba de sarcină săptămânală atunci când CHE furnizează h cuante de EHE;

s - este o variabilă binară. Atunci când s=0 nu este admisă sacrificarea consumatorilor. Atunci când s=1 se admite o valoare a puterii nelivrate $(\lambda/100) \cdot s \cdot PC_{t,max,h}$.

Relaţia (24) trebuie să fie îndeplinită pentru două categorii de valori ale membrului drept: funcţionare normală sau funcţionare cu sacrificarea consumatorilor;

2.2.2. Acoperirea cererii consumatorilor în cazul avarierii unui agregat. În fiecare pas de timp t şi pentru fiecare decizie d cu h cuante de EHE, în cazul avarierii agregatului cu cea mai mare putere ($P_{MAX,g,c}$) dintre cele în funcţiune, trebuie acoperită cererea medie de putere corespunzătoare palierului cu cea mai mare valoare medie săptămânală $\overline{P}\,\overline{C}_{t,J,h}$:

$$\sum_{c\in MC}\sum_{g\in MG(c)} m_{d,g,c}\, P_{max,g,c,} - P_{MAX,g,c} \geq \overline{P}\,\overline{C}_{t,J,h},$$

cu

$t \in MT$, $h \in MH$, $d \in MD$. (25)

2.2.3. Respectarea limitărilor de funcţionare din motive tehnologice, constructive sau de exploatare ale fiecărui grup g din fiecare centrală c în fiecare pas de timp t pentru orice decizie d cu h cuante de EHE pentru fiecare valoare aleatoare cu indicele q al sarcinii de pe fiecare palier j al curbei de sarcină:

$$P_{min,g,c} \leq P_{t,d,g,c,j,q,h} \leq P_{max,g,c},$$

cu

$t \in MT$, $h \in MH$, $d \in MD$, $c \in MC$, $g \in MG(c)$, $j \in MJ$, $q \in MQ$. (26)

2.2.4. În fiecare centrală c, pentru fiecare decizie d cu h cuante de EHE şi pentru fiecare pas de timp t, numărul de grupuri de termoficare în funcţiune trebuie să fie mai mare sau cel puţin egal cu numărul minim admisibil de grupuri de termoficare în funcţiune ($NMINP_{t,c}$):

$$\sum_{g\in MGP(c)} m_{d,g,c} \geq NMIN\, P_{t,c};$$ (27)

$t \in MT$, $h \in MH$, $d \in MD$, $c \in MC$.

$MGP(c) = \{1,2,...,GP(c)\}$ este mulţimea grupurilor de termoficare din centrala c; $GP(c)$ reprezintă numărul de grupuri de termoficare din centrala c.

2.2.5. Pentru fiecare pas de timp t şi fiecare decizie d cu h cuante de EHE, numărul de schimbări de stare de funcţionare ale grupurilor dintr-o anumită centrală trebuie să nu depăşească numărul maxim admisibil de schimbări de stare de funcţionare (porniri) pentru centrala respectivă $NMAXCHC_{t,c}$. Relaţia trebuie îndeplinită atunci când se trece de la starea $S_{x,t-1}$, $x \in MI_{t-1}$ la o altă stare $S_{y,t}$, $y \in MI_t$ prin intermediul deciziei $D_{d,h}$:

$$\sum_{g\in MG(c)} \left(m_{x,g,c}\ XOR\ m_{d,g,c}\right) \leq NMAXCHC_{t,c},$$

cu

$t \in MT$, $h \in MH$, $d \in MD$, $c \in MC$, $x \in MI_{t-1}$, (28)

în care simbolul "XOR" desemnează operaţia logică "sau exclusiv".

2.2.6. Pentru fiecare pas de timp t, şi fiecare decizie d, numărul de revizii/reparaţii ale grupurilor dintr-o anumită centrală trebuie să fie mai mic, cel mult egal cu numărul maxim admisibil de revizii/reparaţii pentru centrala respectivă $NMAXRRC_{t,c}$:

$$\sum_{g\in MG(c)} \left(f_{1,g,c} + f_{2,g,c}\right) \leq NMAXRRC_{t,c},$$

cu

$t \in MT$, $h \in MH$, $d \in MD$, $c \in MC$, (29)

în care $f_{1,g,c}$, $f_{2,g,c}$ sunt funcţii booleene, având valorile 0 sau 1.

- $f_{1,g,c}$ are valoarea 1 dacă:
  - $GS_{t-1,x,g,c}$ indică pentru grupul g din centrala c faptul că în starea $S_{x,t-1}$ acesta se afla în revizia/reparaţia cu numărul de ordine r; şi
  - durata cât grupul a stat în revizia/reparaţia r, indicată de $Tf_{t-1,x,g,c}$ este mai mică decât durata normată a revizici/reparaţiei şi
  - în decizia curentă $m_{d,g,c} = 0$.

  Altfel, $f_{1,g,c} = 0$.

- $f_{2,g,c}$ are valoarea 1 dacă
  - durata de funcţionare a grupului g, din centrala c, indicată tot de $Tf_{t-1,x,g,c}$ este egală cu durata maximă de funcţionare admisibilă a grupului înainte de intrarea în revizia/reparaţia cu numărul de ordine r, şi
  - în decizia curenta $m_{d,g,c} = 0$ şi
  - în starea $S_{x,t-1}$, grupul nu este în revizie;

  Altfel, $f_{2,g,c} = 0$.

2.2.7. Pentru fiecare combustibil k limitat în debit, în fiecare pas de timp t, pentru fiecare decizie d cu h cuante de EHE şi pentru fiecare valoare aleatoare q a cererii de putere a oricărui palier j al curbei de sarcină, debitul de

combustibil trebuie să fie mai mic, cel mult egal cu valoarea maximă admisibilă a debitului acestui combustibil pe pasul de timp t, $DMAX_{t,k}$

$$\sum_{c\in MC}\sum_{g\in MG(c)} m_{d,g,c}\cdot B_{g,c}(P_{t,d,g,c,j,q,h})\cdot pb_{k,g,c} \le DMAX_{t,k},$$

cu

$t\in MT$, $h\in MH$, $d\in MD$, $k\in MK$, $j\in MJ$, $q\in MQ$ (30)

2.2.8. Pentru fiecare combustibil k limitat în cantitate, pentru fiecare stare y din pasul de timp t (apărută ca urmare a luării deciziei d cu h cuante de EHE), cantitatea consumată din sortimentul de combustibil k trebuie să fie mai mică, cel mult egală cu valoarea maximă admisibilă a cantității de combustibil din acest sortiment, $BMAX_k$:

$$QK_{t,y,k} \le BMAX_k;\quad t\in MT,\ k\in MK,\ y\in MI_t, \quad (31)$$

cu

$$QK_{t,y,k} = QK_{t-1,x,k} + QQK_k(D_{d,h})$$

$t,(t-1)\in MT$, $h\in MH$, $d\in MD$, $k\in MK$, $y\in MI_t$, $x\in MI_{t-1}$ (32)

$$QQK_k(D_{d,h}) = QPORN_k(S_{x,t-1},S_{y,t}) + QFUNK_k(D_{d,h}) \quad (33)$$

unde $QK_{t,y,k}$ reprezintă cantitatea totală de combustibil din sortimentul k, consumată în starea y, la sfîrşitul pasului de timp *t*. $QK_{t,y,k}$ se calculează adunînd la $QK_{t-1,x,k}$ (cantitatea totală de combustibil, din sortimentul k consumată la sfârşitul pasului de timp *t*-1 în starea x, $x\in MI_{t-1}$) cantitatea de combustibil din sortimentul k, consumată în decizia $D_{d,h}$ de trecere de la starea $S_{x,t-1}$ la starea $S_{y,t}$. Notăm cu $QQK_k(D_{d,h})$ această cantitate.

$QPORN_k$ $(S_{x,t-1},S_{y,t})$ - cantitatea de combustibil din sortimentul k, consumată la porniri în decizia $D_{d,h}$ alipită stării $S_{x,t-1}$.

$QFUNC_k(D_{d,h})$ - valoarea medie a cantității de combustibil din sortimentul k, consumată la funcţionare în decizia d, cu h cuante de EHE, ţinând seama de disponibilitatea grupurilor în funcţiune.

Mărimile introduse în relaţia (33) se calculează cu relaţiile:

$$QPORN_k(S_{x,t-1},S_{y,t}) = \sum_{c\in MC}\sum_{g\in MG(c)} f_{3,g,c}\cdot BPOR_{g,c}\cdot pb_{k,g,c}, \quad (34)$$

$t,(t-1)\in MT$, $x\in MI_{t-1}$, $y\in MI_t$, $k\in MK$.

$$QFUNK_k(D_{d,h}) = A_0\cdot QF_k(D_{d,h}) + \sum_{c\in MC}\sum_{g\in MG(c)} A_{g,c}\cdot QA_{k,g,c}(D_{d,h}), \quad (35)$$

$t\in MT$, $d\in MD$, $h\in MH$, $k\in MK$,

cu

$$QF_k(D_{d,h}) = \sum_{c\in MC}\sum_{g\in MG(c)} pb_{k,g,c}\sum_{q\in MQ}\sum_{j\in MJ} P_{t,j,q}\cdot m_{d,g,c}\cdot B_{g,c}(P_{t,d,g,c,j,q,h})\cdot t_j, \quad (36)$$

$$QA_{k,g,c}(D_{d,h}) = \sum_{v\in MC}\sum_{\substack{u\in MG(v)\\ u\ne g}} pb_{k,u,v}\sum_{q\in MQ}\sum_{j\in MJ} P_{t,j,q}\cdot m_{d,u,v}\cdot B_{g,c}(P_{t,d,u,v,j,q,h})\cdot t_j \quad (37)$$

în care :

$BPOR_{g,c}$ este consumul de pornire al grupului g, din centrala c;

$QF_k(D_{d,h})$ - valoarea medie a consumului total de combustibil din sortimentul k, în decizia d, cu h cuante de EHE, în ipoteza că toate generatoarele sunt în funcţiune;

$QA_{k,g,c}(D_{d,h})$ -valoarea medie a consumului total de combustibil din sortimentul k, în decizia d, cu h cuante de EHE în ipoteza că generatorul g din centrala c este în avarie;

$QF_K(D_{d,h})$ şi $QA_{k,g,c}(D_{d,h})$ sunt valori medii, ţinând seama de caracterul aleator al prognozei curbei de sarcină.

2.2.9. Restricţia referitoare la consumarea întregii cantităţi de apă disponibile

$$\sum_{t\in MT} WH_t(D_{d,h}) = W_{H,max};\quad d\in MD,\ h\in MH, \quad (38\ a)$$

sau

$$\sum_{t\in MT} h_t(D_{d,h}) = N;\quad d\in MD,\ h\in MH, \quad (38\ b)$$

unde $h_t(D_{d,h})$ reprezintă numărul de cuante de energie hidroelectrică consumate în pasul *t*, la trecerea de la starea $S_{x,t-1}$ la starea $S_{y,t}$, prin decizia $D_{d,h}$.

Relaţia (38 b) exprimată în cuante de EHE este echivalentă cu relaţia (38 a) în care $Wh_t(D_{d,h})$ reprezintă energia hidroelectrică consumată în pasul *t* atunci când se ia decizia $D_{d,h}$.

Funcţia obiectiv este dată de relaţia (7) cu notaţiile (9)-(16), iar restricţiile sunt date de relaţiile (24)-(31) şi (38) cu notaţiile (32)-(37). Toate relaţiile au fost scrise pentru cazul în care în zilele de sărbătoare avem aceeaşi structură termo

ca în zilele de lucru. În cazul în care în zilele de lucru şi de sărbătoare avem structuri diferite, relaţiile capătă o formă mai complicată. Modelul matematic al problemei are în componenţă necunoscute de tip binar ($m_{d,g,c}$), de tip întreg (n), cât şi necunoscute de tip real ($P_{t,d,g,c,j,q,h}$).

Rezolvarea problemei este deosebit de dificilă datorită:

a) dimensiunilor foarte mari ale problemei, date de:

- numărul foarte mare de necunoscute, atât de tip real, cât şi de tip binar sau întreg;
- numărul foarte mare de restricţii.

b) dificultăţilor legate de posibilităţile cunoscute de rezolvare a unei probleme cu variabile mixte de acest tip chiar de dimensiuni mult mai mici.

O posibilitate de rezolvare a problemei o constituie metoda programării dinamice, utilizând pentru variabilele de tip binar metode de enumerare şi de calcul pe bază de decizii logice.

Această metodă de rezolvare va fi expusă în paragraful următor.

3. Metoda de rezolvare

3.1. Principiul metodei

Ecuaţia funcţională a programării dinamice, conform principiului de optimalitate al lui Bellman, se scrie în acest caz sub forma:

$$CT_t(S_{y,t}) = \min\{CT_{t-1}(S_{x,t-1}) + C_t(S_{x,t-1}, S_{y,t}) \mid x \in MI_{t-1}\}, \quad y \in MI_t \; t \in MT \qquad (39)$$

unde: $CT_{t-1}(S_{x,t-1})$, $CT_t(S_{y,t})$ reprezintă cheltuielile totale minime în starea x, $x \in MI_{t-1}$, la sfârşitul pasului t-1 respectiv în starea y, $y \in MI_t$, la sfârşitul pasului t, pe care le vom nota în continuare pentru simplificarea scrierii cu $CT_{t-1,x}$, respectiv $CT_{t,y}$;

$C_t(S_{x,t-1}, S_{y,t})$ - reprezintă cheltuielile totale de trecere de la starea $S_{x,t-1}$, $x \in MI_{t-1}$ la starea $S_{y,t}$, $y \in MI_t$, prin intermediul deciziei $D_{d,h}$, $d \in MD$, $h \in MH$, pe care le vom nota cu $C_t(D_{d,h})$.

Aplicarea relaţiei de recurenţă (39) pentru $t = 1,2,...,T$ este echivalentă cu rezolvarea problemei pe un an de zile. Relaţia (39) pune în evidenţă importanţa indicatorului $CT_{t,y}$, $y \in MI_t$ - cheltuielile totale minime în starea y, la pasul de timp t - în rezolvarea problemei şi în caracterizarea stării.

Aplicarea relaţiei (39) se face în următoarea formă transformată:

$$CT_{t,y} = \min\{CT_{t-1,x} + C_{t,MIN}(D_{d,h}) \mid x \in MI_{t-1}\}, \quad y \in MI_t, \quad t \in MT, \qquad (40)$$

cu

$$C_{t,MIN}(D_{d,h}) = CP(S_{x,t-1}, S_{y,t}) + CRR(S_{x,t-1}, S_{y,t}) + \min\{CFA(D_{d,h})\}. \qquad (41)$$

$C_{t,MIN}(D_{d,h})$ reprezintă valoarea cheltuielilor totale minime de trecere de la starea $S_{x,t-1}$, $x \in MI_{t-1}$, la starea $S_{y,t}$, $y \in MI_t$, prin intermediul deciziei $D_{d,h}$, $d \in MD$, $h \in MH$.

Este evident că pentru $CT_{t-1,x}$ dat, constant, valoarea minimă a parantezei din membrul drept al relaţiei (39) se obţine pentru valoarea minimă a termenului al doilea din paranteza respectivă. De aici necesitatea înlocuirii relaţiei (39) cu relaţia (40).

Minimizarea membrului drept al relaţiei (41) pentru $D_{d,h}$ şi x fixate înseamnă minimizarea termenului $CFA(D_{d,h})$ din relaţia (9), ceilalţi doi termeni $CP(S_{x,t-1}, S_{y,t})$ şi $CRR(S_{x,t-1}, S_{y,t})$ având caracterul unor constante, pentru o stare x dată şi $D_{d,h}$ fixat.

Minimizarea lui $CFA(D_{d,h})$ presupune pentru fiecare decizie termo d, pentru toate deciziile hidro h asociate ei, pentru toate valorile aleatoare q ale cererii de putere pe fiecare palier j al curbei de sarcină rezolvarea de (NSY+1) ori a problemei repartiţiei optime a puterilor între grupurile întregului sistem energetic (o dată pentru cazul în care toate grupurile sunt în funcţiune şi de NSY ori, considerînd pe rând câte un grup în avarie dintre cele în funcţiune în decizia $D_{d,h}$), în care NSY reprezintă numărul total de grupuri în funcţiune pe sistem. Această operaţie duce la determinarea valorilor necunoscutelor de tip real $P_{t,d,g,c,j,q,h}$ pentru un set cunoscut de valori ale variabilelor binare.

$$NSY = \sum_{c \in MC} \sum_{g \in MG(c)} m_{d,g,c}. \qquad (42)$$

Deci aplicarea relaţiei (40) presupune două etape:

a) rezolvarea subproblemei date de minimizarea cheltuielilor $CFA(D_{d,h})$;

b) rezolvarea problemei date de relaţia (40), echivalentă relaţiei (39) pentru toate stările y, $y \in MI_t$.

La o aceeaşi stare y, $y \in MI_t$ se poate ajunge însă pornind de la stări x diferite, $x \in MI_{t-1}$, prin decizii $D_{d,h}$ diferite, $d \in MD$, $h \in MH$.

Stările obţinute prin alipirea deciziilor $D_{dj,hj}$ şi $D_{dk,hk}$ la stările $S_{xu,t-1}$, $S_{xv,t-1}$, ($dj,dk \in MD$; $hj,hk \in MH$; $xu,xv \in MI_{t-1}$), notate simbolic $S_{ya,t}$, $S_{yb,t}$ sunt echivalente dacă:

- la sfârşitul pasului t numărul total de cuante de apă consumate pe sistem, în cele două stări este acelaşi:

$$EHE_{t,ya} = EHE_{t,yb}; \quad (43)$$

- pentru toate generatoarele $g \in MG(c)$ din toate centralele $c \in MC$, numărul de ore de funcţionare în cele două stari, este acelaşi la sfîrşitul pasului de timp t:

$$TF_{t,ya,g,c} = TF_{t,yb,g,c}, \; g \in MG(c), \; c \in MC; \quad (44)$$

- pentru toate generatoarele $g \in MG(c)$ din toate centralele $c \in MC$, situaţia reviziilor/reparaţiilor este aceeaşi în pasul t în sensul că:

• grupurile se găsesc înaintea aceleiaşi revizii/reparaţii r ; sau

• grupurile se găsesc în aceeaşi revizie/reparaţie r, şi au realizat acelaşi număr de ore de revizie/reparaţie:

$$GS_{t,ya,g,c} = GS_{t,yb,g,c}, \; g \in MG(c); \; c \in MC, \quad (45)$$

şi

$$TF_{t,ya,g,c} = TF_{t,yb,g,c} \quad g \in MG(c); \; c \in MC \quad (46)$$

Dacă două stări ya, $yb \in MI_t$ îndeplinesc condiţiile de mai sus, ele sunt considerate echivalente şi în continuare dintre deciziile $D_{dj,hj}$ şi $D_{dk,hk}$ se reţine aceea care conduce la cheltuieli totale minime, conform relaţiei (40).

Aplicarea repetată a relaţiei de recurenţă (39) pentru $t=1,2,...,T$ în condiţiile respectării restricţiilor (24) - (31) şi (38) ne conduce la soluţia optimă a problemei a cărei funcţie obiectiv este dată de relaţia (7). Pentru rezolvarea corectă a problemei mai sunt de precizat două elemente:

a) Pentru aplicarea relaţiei (40) la momentul $t = 0$ se consideră $C_{0,0} = 0$.

b) La sfîrşitul perioadei de planificare se adaugă un pas de timp $t=T+1$ de durată zero pentru echivalarea economică a soluţiilor prin introducerea de penalizări. Penalizările se introduc pentru:

• numărul de ore de funcţionare pe care generatorul nu le-a efectuat în perioada de planificare, dacă la sfârşitul perioadei generatorul este în funcţiune sau este oprit fără a fi în revizie;

• neefectuarea reviziilor/reparaţiilor planificate;

• neterminarea reviziei/reparaţiei planificate dacă la sfârşitul perioadei agregatul se află încă în revizie/reparaţie .

3.2. Algoritmul de rezolvare

Pentru fiecare pas de timp $t = 1,2,...,T$, ($T = 52$ săptămâni) se parcurg paşii de calcul următori:

1. Se determină $PC_{t,j,q,h}$, $j \in MJ$, $q \in MQ$, $h \in MH$, scăzând din curba de sarcină a sistemului puterea CHE pe firul apei, energia CHE cu acumulare, corespunzătoare funcţionării cu h cuante de EHE; dacă sunt admise sacrificiile, se consideră suplimentar şi cazul în care se sacrifică o parte din consumatori.

2. Se generează deciziile $D_{d,h}$, $d \in MD$, $h \in MH$, caracterizate fiecare printr-o anumită structură termo şi un număr de cuante de EHE produse în CHE cu acumulare. Deciziile care nu respectă restricţiile (24) - (27) sunt eliminate.

3. Pentru fiecare decizie $D_{d,h}$, cu h cuante de EHE, $h \in MH$ se execută paşii de calcul următori:

4. Pentru fiecare valoare $P_{t,j,q,h}$, $j \in MJ$, $q \in MQ$ se calculează repartiţia optimă a puterilor considerând :

• toate grupurile (în funcţiune în decizia respectivă) în funcţiune;

• toate cazurile posibile când pe rând câte un grup (dintre cele în funcţiune în $D_{d,h}$) este în avarie.

Se determină $\min\{CFA(D_{d,h})\}$. Decizia este menţinută dacă se respectă şi restricţiile (30).

5. Pentru fiecare stare $S_{x,t-1}$, $x \in MI_{t-1}$, se cercetează posibilitatea alipirii deciziei $D_{d,h}$ cu $h \in MH$. Pentru aceasta se examinează toate stările $S_{x,t-1}$ anterior generate la pasul t-1.

Dacă restricţiile (28) - (29) nu sunt respectate pentru nici o stare, decizia este respinsă şi algoritmul se reia de la pasul 2.

Dintre toate stările se reţin numai acelea pentru care restricţiile (28) - (29) sunt respectate.

6. Pentru aplicarea relaţiei (41) se calculează $CP(S_{x,t-1}, S_{y,t})$ şi $CRR(S_{x,t-1}, S_{yt})$ şi în final

$C_{t,MIN}(D_{d,h})$. Alipirea deciziei este acceptată numai dacă şi restricţia (31) este satisfăcută.

Se calculează

$$CT_{t,yb} = CT_{t-1,x} + C_{t,MIN}(D_{d,h})$$
$$x \in MI_{t-1},\ yb \in MI_t \qquad (47)$$

7. Pentru fiecare stare $ya \in MI_t$, generată anterior, se verifică dacă sunt îndeplinite condiţiile (43) - (46) pentru ca starea yb, nou generată, să fie echivalentă cu o stare ya anterior generată.

Dacă condiţiile nu sunt îndeplinite, se generează o nouă stare $y \in MT_t$ caracterizată de:

$$CT_{t,y} = CT_{t,yb}. \qquad (48)$$

Dacă condiţiile sunt îndeplinite, se reţine dintre cele două stări cea pentru care

$$CT_{t,y} = \min\{CT_{t,ya}, CT_{t,yb}\}. \qquad (49)$$

Sfârşitul algoritmului. Se adaugă pasul de timp fictiv T+1, de echivalare economică de durată zero şi penalizările necesare. Se identifică strategia optimă ca o succesiune de T decizii $D_{d,h}$.

BIBLIOGRAFIE

[1] Kerr, R. H., Scheidt, J. L., Fontana, A. J., Wiley, J. K. *Unit Commitment*, In: IEEE Transactions on PAS-85, No. 5, pp. 417-421, May 1966.

[2] Hara, K., Kimura, M., Honda, N. *A Method for Planning Economic Unit Commitment and Maintenance of Thermal Power Systems*, In: IEEE Transactions on PAS-85, No. 5, pp. 427-436, May 1966.

[3] Pang, C. K., Chen, H. C. *Optimal Short-Term Thermal Unit Commitment*. In: IEEE Transactions on PAS-95, No. 4, pp. 1336-1346, July/August 1976.

[4] Hobbs, W.J., Hermon, G., Warner, S., Sheblé, G.B. *An Enhanced Dynamic Programming Approach for Unit Commitment*. In: IEEE Transactions on PWRS-3, No. 3, pp. 1201-1205, August 1988.

[5] Happ, H. H., Johnson, R. C., Wright, W.J. *Large Scale Hydro-Thermal Unit Commitment Method and Result*, In: IEEE Transactions on PAS-90, No. 3, pp. 1373-1384, May/June 1971.

[6] Lee, F. N. *The Application of Commitment Utilization Factor (CUF) to Thermal Unit Commitment*. In: IEEE Transactions on PWRS-6, No. 2, pp. 691-698, May 1991.

[7] Waight, J. G., Albuyeh, F., Bose, A. *Scheduling of Generation and Reserve Margin Using Dynamic and Linear Programming*. In: IEEE Transactions on PAS-100, No. 5, pp. 2226-2230, May 1981.

[8] Van Meeteren, H. P. *Scheduling of Generation and Allocation of Fuel Using Dynamic and Linear Programming* . In: IEEE Transactions on PAS-103, No. 7, pp. 1562-1568, July 1984.

[9] Virmani, S., Adrian, E.C., Imhof, K., Mukherjee, S. *Implementation of a Lagrangian Relaxation Based Unit Commitment Problem*. In: IEEE Transactions on PWRS-4, No. 4, pp. 1373-1380, November 1989.

[10] Merlin, A., Sandrin, P. *A New Method for Unit Commitment at Electricité de France*. In: IEEE Transactions on PAS-102, No. 5, pp. 1218-1225, May 1983.

[11] Cohen, A. I., Yoshimura, M., Wright, W.J. *A Branch and Bound Algorithm for Unit Commitment*. In: IEEE Transactions on PAS-102, No. 2, pp. 444-451, February 1983.

[12] Muckstadt, J. A., Wilson, R. C. *An Application of Mixed-Integer Programming Duality to Scheduling Thermal Generating Systems*. In: IEEE Transactions on PAS-87, No. 12, pp. 1968-1977, December 1968.

[13] Dilon, T. S., Edwin, K. W., Kochs, H. D., Taud, R. J. *Integer Programming Approach to the Problem of Optimal Unit Commitment with Probabilistic Reserve Determination*. In: IEEE Transactions on PAS-97, No. 6, pp. 2154-2166, Nov/Dec 1978.

[14] Ghenu, S., Bazacliu, G., Dumbravă, V., Miclescu, Th. *Model şi algoritm de rezolvare pentru planificarea funcţionării optime a sistemului energetic pe durata unui an*, Al III-lea Simpozion "Optimizarea dezvoltării şi exploatării instalaţiilor energetice", Iaşi, 1991.

[15] Miclescu, Th., Pomârleanu, M., Bazacliu, G., Bejuscu, L.,Dumbravă, V. *Este posibilă o programare optimă a funcţionării SEN*? In: Energetica , 42, 1994, Nr. 1-B

Referent: dr. ing. Rodica Balaurescu - GPEET

(Primit la 23 mai 1996, acceptat la 15 octombrie 1996)

ALGORITM SECVENŢIAL PENTRU PROIECTAREA CONFIGURAŢIEI TRASEELOR REŢELELOR ELECTRICE URBANE DE DISTRIBUŢIE BUCLATE

ş.l. ing. VIRGIL DUMBRAVĂ, prof. dr. ing. THEODOR MICLESCU, conf. dr. ing. GABRIEL BAZACLIU *

În cazul în care pentru o reţea electrică urbană de distribuţie sunt cunoscute amplasamentele şi puterile instalate ale consumatorilor şi ale surselor de alimentare (PT, PA, ST), rămân de determinat traseele optime ale liniilor electrice.

În cadrul lucrării este prezentat un algoritm secvenţial cu ajutorul căruia pot fi determinate traseele liniilor care fac legătura între sursele de alimentare şi punctele de consum într-o configuraţie buclată, astfel încât lungimea totală a traseelor să fie minimă.

Algoritmul se bazează pe o metodă care adaugă pe rând câte un nod arborelui de lungime minimă până când toate nodurile reţelei sunt conectate într-o reţea finală.

Sunt prezentate rezultatele obţinute pe baza acestui algoritm pentru un exemplu de reţea cu 72 de noduri.

The data required for a distribution system design, consisting in load data, description of planned equipment and substations and loads locations being known, the optimal loop configuration must be established.

This paper describe an heuristic algorithm for finding a minimal length loop configuration. The algorithm is based on a method that adds nodes (one at time) to a minimal spanning network tree until all nodes are connected in the final network.

The algorithm is tested by applying it to a 72 node example system.

Descriptori: reţele de distribuţie

Introducere

În cazul în care pentru o reţea electrică urbană de distribuţie aflată în faza de proiectare sau de dezvoltare, sunt cunoscute amplasamentele şi puterile instalate ale consumatorilor şi ale surselor de alimentare (PT, PA, ST), rămân de determinat traseele optime ale liniilor electrice. O asemenea problemă se încadrează în categoria problemelor de optimizare combinatorială. Pentru rezolvarea ei s-au folosit algoritmul simplex [1], algoritmi euristici [2, 3, 7], algoritmi genetici [4], sisteme expert [5, 6].

Deşi reţelele electrice urbane de distribuţie sunt construite buclat, majoritatea algoritmilor de planificare a dezvoltării acestui tip de reţele pot fi aplicaţi doar pe scheme debuclate [1÷6]. În cadrul acestei lucrări este prezentat algoritmul secvenţial COREB, elaborat de autori pentru determinarea traseelor într-o reţea buclată având linii alimentate de la două capete, astfel încât să se obţină o lungime totală cât mai mică a traseelor.

* Universitatea Politehnica Bucureşti - Facultatea de Energetică

1. Punerea problemei

Problema determinării configuraţiei optime a traseelor reţelelor electrice poate fi rezolvată diferit în funcţie de natura reţelei. Astfel:

a) dacă este vorba de o zonă în care nu există încă linii electrice, fiind stabilite numai amplasamentele şi puterile consumatorilor, precum şi puterile surselor, se caută determinarea configuraţiei optime buclate sau radiale a noii reţele. Tipul reţelei, buclată sau radială, este determinat anterior, în cadrul unor analize ce iau în considerare factori cum ar fi densitatea sarcinii şi gradul de siguranţă cerut în alimentarea consumatorilor.

b) în cazul unei reţele electrice aflate într-o etapă de dezvoltare în care este necesar să fie realizate noi linii electrice între nodurile deja existente în reţea sau către noduri noi apărute în reţea, sunt selectate dintr-un set prestabilit de noi linii acele linii care duc la obţinerea celei mai bune valori a funcţiei obiectiv avute în vedere.

În cele ce urmează vom trata problema de tipul a), căutând obţinerea unei reţele buclate cu linii alimentate de la două capete.

Având în vedere faptul că valoarea investiţiei pentru o reţea nouă este preponderent determinată de costul liniilor electrice, se vor căuta acele trasee care să ducă la o lungime cât mai mică a liniilor reţelei.

Algoritmul pus la punct face parte din categoria algoritmilor euristici.

2. Modelarea reţelei electrice de distribuţie

Reţeaua electrică de distribuţie este reprezentată prin graful conex şi neorientat asociat ei. Elementele acestui graf sunt:

- *vârfurile*, reprezentând barele de medie tensiune ale staţiilor de transformare ÎT/MT, barele punctelor de alimentare şi ale posturilor de transformare MT/JT, precum şi cutiile de derivaţie la consumatori;
- *muchiile*, care leagă între ele aceste vârfuri şi care pot reprezenta linii electrice de medie sau joasă tensiune.

3. Algoritmul COREB

În cadrul algoritmului COREB se determină mai întâi o schemă arborescentă pentru reţeaua studiată. Această schemă corespunde arborelui parţial de lungime minimă determinat pe baza algoritmului lui Prim [8]. De la această schemă arborescentă se trece apoi la o schemă buclată prin intermediul muchiilor de lungime minimă care fac posibilă legătura între două surse.

Etapele algoritmului COREB sunt următoarele

E1. Se reprezintă într-un sistem de axe xOy amplasamentele surselor şi ale consumatorilor.

E2. Se consideră o sursă fictivă de nivel superior amplasată la o distanţă egală cu zero de fiecare dintre sursele reale considerate la pasul E1.

E3. Se determină arborele parţial de lungime minimă (APLM), având drept rădăcină vârful sursă fictiv [9].

E4. Sunt eliminate legăturile dintre sursa fictivă şi sursele reale, rezultând câte un arbore pentru fiecare sursă reală.

E5. Se închid legăturile între surse astfel:

E5.1. Se consideră mulţimea VT formată din toate vârfurile terminale, mulţimea VS formată din toate vârfurile sursă, precum şi mulţimea VC formată din toate vârfurile consumator:

$$VT \cap VS = \{\varnothing\}$$
$$VT \subset VC$$
$$VT \cup VS = VL,$$

unde VL reprezintă mulţimea tuturor vârfurilor între care se pot stabili legături.

E5.2. Pentru fiecare vârf $v_i \in VT$ se determină distanţa D_{ij} până la cel mai apropiat vârf v_j,

$$D_{ij} = \min \left(\sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2} \right);$$

$j \in VL; \quad j \neq i$

E5.3. Dacă vârfurile v_i şi v_j aparţin aceluiaşi arbore, se respinge legătura $(v_i\text{-}v_j)$ şi se revine la E5.2 pentru determinarea unei alte legături. Altfel se continuă cu E5.4;

E5.4. Se stabileşte legătura $(v_i\text{-}v_j)$ determinată la E5.2 şi verificată la E5.3, după care vârfurile v_i şi v_j se elimină din VT. Dacă $v_j \notin VT$, v_j reprezentând deci o sursă, v_j este păstrat în VS;

E5.5. Dacă VT = {∅}, algoritmul se încheie, fiind stabilite legăturile între surse. Dacă nu, se revine la E5.2.

Organigrama algoritmului COREB este prezentată în figura 1.

În cazul în care se elimină restricţia formulată la pasul E5.3, se vor putea obţine şi linii buclate alimentate de la o aceeaşi sursă, rezultând o reţea buclată mixtă (cu linii alimentate de la o singură sursă sau de la două surse).

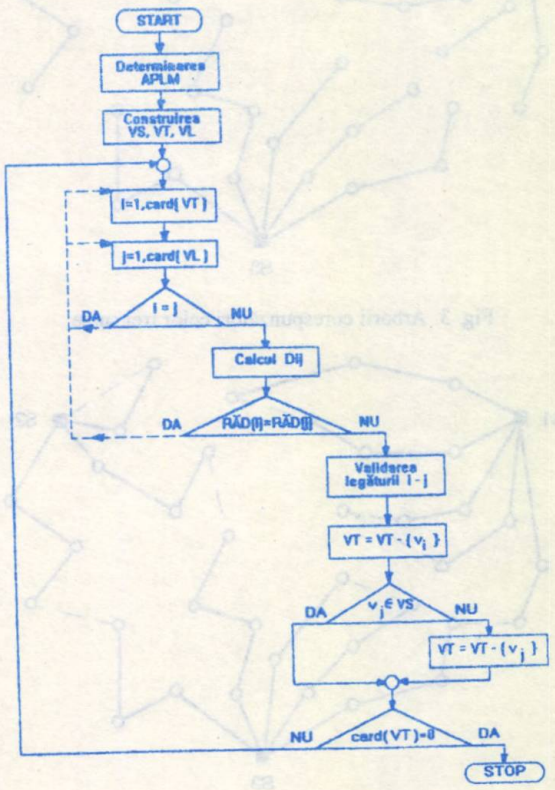


Fig.1. Organigrama algoritmului COREB.

Pentru amplasamentele ipotetice ale surselor şi aie consumatorilor prezentate în figura 2, se prezintă în figura 3 arborii corespunzători celor trei surse, iar în figura 4 un exemplu de reţea ce se poate obţine prin aplicarea algoritmului COREB.

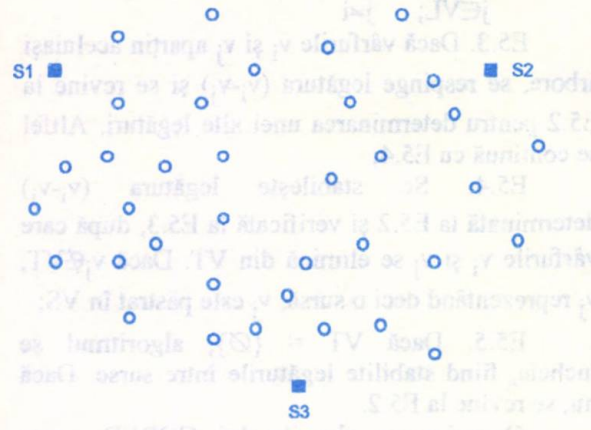


Fig. 2. Amplasamentele surselor şi ale consumatorilor.

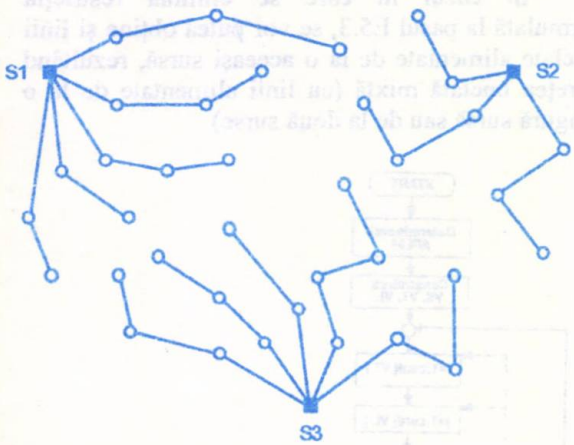


Fig. 3. Arborii corespunzători celor trei surse.

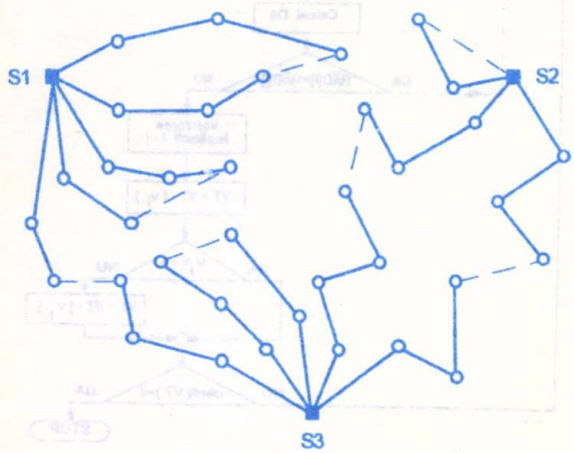


Fig. 4. Reţea buclată posibilă.

Transformând restricţia E5.3 astfel încât vârfurile v_i şi v_j să aparţină obligatoriu aceluiaşi arbore, se va obţine o reţea buclată cu toate liniile alimentate de la câte o sursă.

Algoritmul prezentat poate fi folosit şi pentru determinarea traseelor liniilor electrice noi în cazul unei reţele aflate în dezvoltare, folosindu-se drept soluţie iniţială reţeaua buclată existentă în locul schemei arborescente corespunzătoare APLM.

APLICAŢIE

Pe baza algoritmului COREB a fost realizat un program de calcul în limbaj PASCAL. Programul a fost testat pe o reţea de distribuţie având trei surse de alimentare şi 69 de consumatori prezentată în [7]. În tabelul 1 sunt prezentate amplasamentele surselor şi ale consumatorilor.

Tabelul 1

Coordonatele surselor şi ale consumatorilor

Nodul	X [km]	Y [km]	Nodul	X [km]	Y [km]
S1	16	10	37	12	12
S2	1	6	38	9	12
S3	6	21	39	7	1
4	14	4	40	7	7
5	12	8	41	6	4
6	8	3	42	4	4
7	3	2	43	2	23
8	7	11	44	11	24
9	11	8	45	7	9
10	13	13	46	7	13
11	17	12	47	4	24
12	16	8	48	14	21
13	4	9	49	15	15
14	2	13	50	12	6
15	10	6	51	6	18
16	9	16	52	9	4
17	9	20	53	12	15
18	8	23	54	15	2
19	5	22	55	15	5
20	2	21	56	13	9
21	4	17	57	5	6
22	7	15	58	15	17
23	13	18	59	6	16
24	12	22	60	3	19
25	13	23	61	5	11
26	16	19	62	11	20
27	16	16	63	12	17
28	12	1	64	13	20
29	11	3	65	14	12
30	2	8	66	10	23
31	3	11	67	2	4
32	1	17	68	9	11
33	3	16	69	10	7
34	2	15	70	3	8
35	8	22	71	14	8
36	8	14	72	3	5

În plus faţă de algoritmul descris, în cadrul aplicaţiei nu au fost admise tronsoane cu o lungime mai mare de 4 km. În aceste condiţii, dintre toate cele $C_{72}^2 = 2556$ legături posibile între cele 72 de noduri, au fost admise numai 249.

În figura 5 este prezentată reţeaua arborescentă de lungime minimă. Nodul sursă fictiv SF este conectat prin muchiile fictive SF - S1, SF - S2 şi SF - S3, reprezentate prin linii întrerupte, cu nodurile sursă reale, S1, S2 şi S3.

În figura 6 este prezentată reţeaua buclată obţinută prin închiderea legăturilor dintre nodurile S1 - 65, S3 - 51, 11 - 49, 20 - 60, 37 - 38 şi 39 - 41.

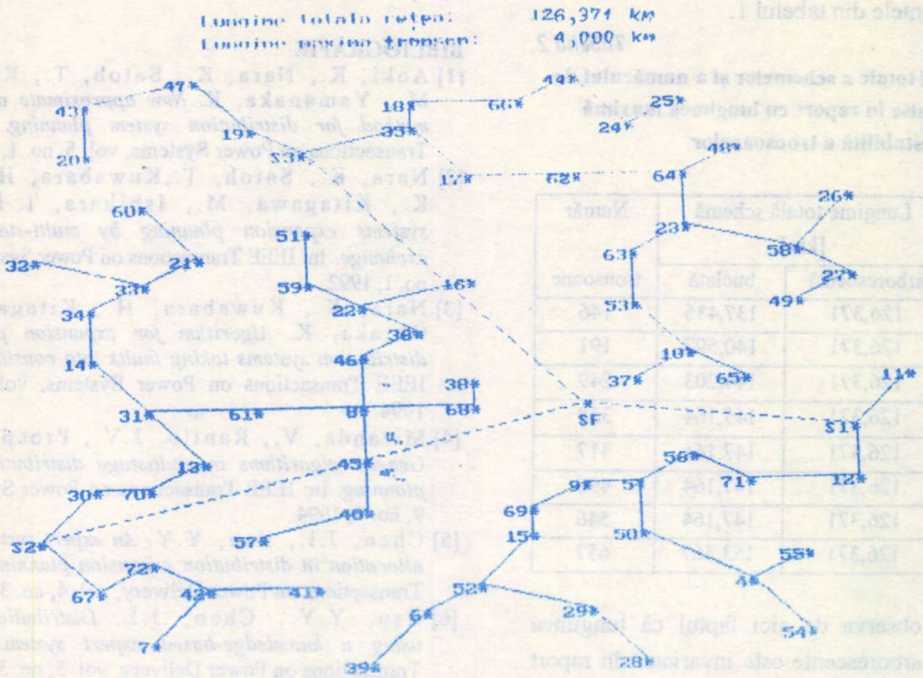


Fig.5. Reţeaua arborescentă.

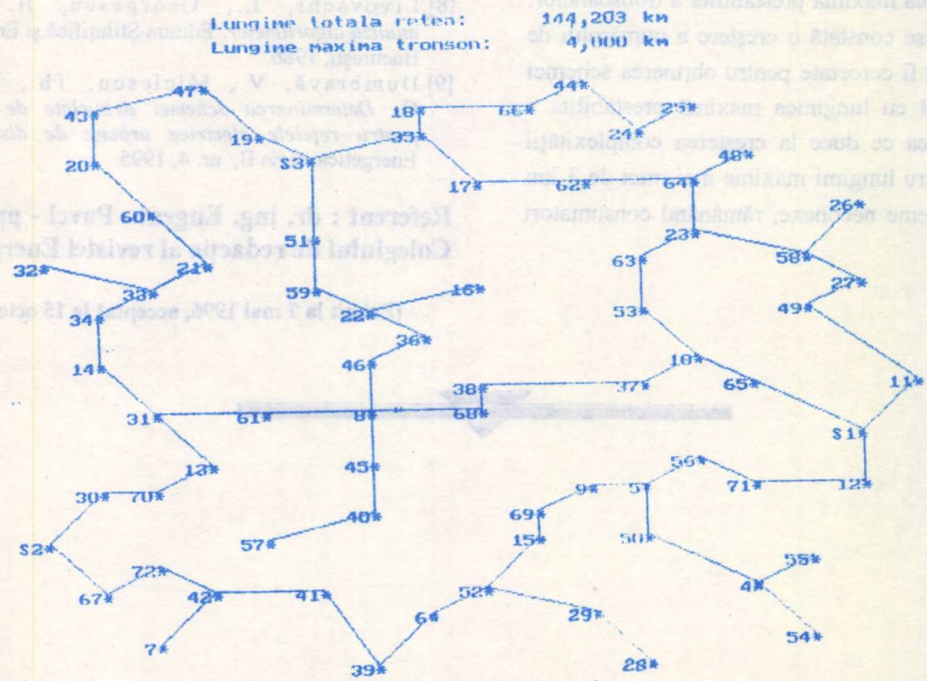


Fig.6. Reţeaua buclată.

Se observă că o parte din consumatori vor fi alimentaţi radial. Acest lucru se datorează caracterului arborescent al reţelei debuclate determinate în etapa E3 a algoritmului COREB.

În tabelul 2 sunt prezentate rezultatele numerice obţinute cu acelaşi program de calcul pentru diferite lungimi maxime prestabilite ale tronsoanelor, tot pentru amplasamentele din tabelul 1.

Tabelul 2

Variaţia lungimii totale a schemelor şi a numărului de tronsoane admise în raport cu lungimea maximă prestabilită a tronsoanelor

Lungime maximă, [km]	Lungime totală schemă [km]		Număr tronsoane
	arborescentă	buclată	
3	126,371	137,435	146
3,5	126,371	140,597	191
4	126,371	144,203	249
4,5	126,371	145,164	358
5	126,371	147,164	417
5,5	126,371	147,164	490
6	126,371	147,164	546
6,5	126,371	153,567	657

Se poate observa de aici faptul că lungimea totală a schemei arborescente este invariantă în raport cu lungimea maximă prestabilită a tronsoanelor, în timp ce lungimea totală a reţelei buclate creşte în raport cu lungimea maximă prestabilită a tronsoanelor. De asemenea, a se constată o creştere a numărului de tronsoane ce pot fi cercetate pentru obţinerea schemei buclate în raport cu lungimea maximă prestabilită a tronsoanelor, ceea ce duce la creşterea complexităţii problemei. Pentru lungimi maxime mai mici de 3 km s-au obţinut scheme neconexe, rămânând consumatori nealimentaţi.

Concluzii

Algoritmul euristic prezentat permite determinarea traseelor liniilor electrice într-o reţea buclată cu linii alimentate de la două capete. Algoritmul va fi perfecţionat în continuare, pentru a elimina posibilitatea apariţiei de consumatori alimentaţi radial, realizându-se astfel o reţea complet buclată.

BIBLIOGRAFIE

[1] Aoki, K., Nara, K., Satoh, T., Kitagawa, M., Yamanaka, K. *New approximate optimization method for distribution system planning.* In: IEEE Transactions on Power Systems, vol. 5, no. 1, 1990.

[2] Nara, K., Satoh, T.,Kuwabara, H., Aoki, K., Kitagawa, M., Ishihara, T. *Distribution systems expansion planning by multi-stage branch exchange.* In: IEEE Transactions on Power Systems, vol. 7, no. 1, 1992.

[3] Nara, K., Kuwabara, H., Kitagawa, M., Ohtaka, K. *Algorithm for expansion planning in distribution systems taking faults into consideration.* In: IEEE Transactions on Power Systems, vol. 9, no. 1, 1994.

[4] Miranda, V., Ranito, J.V., Proença, L.M. *Genetic algorithms in multistage distribution network planning.* In: IEEE Transactions on Power Systems, vol. 9, no. 4, 1994.

[5] Chen, J.1., Hsu, Y.Y. *An expert system for load allocation in distribution expansion planning.* In: IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 4, no. 3, 1989.

[6] Hsu, Y.Y., Chen, J.L. *Distribution planning using a knowledge-based expert system.* In: IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 5, no. 3, 1990.

[7] Glamocanin, V., Filipovic, V. *Open loop distribution system design.* In: IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 8, No. 4, 1993.

[8] Livovschi, L., Georgescu, H. *Sinteza şi analiza algoritmelor.* Editura Ştiinţifică şi Enciclopedică, Bucureşti, 1986.

[9] Dumbravă, V., Miclescu, Th., Bazacliu, G. *Determinarea schemei debuclate de funcţionare pentru reţelele electrice urbane de distribuţie.* In: Energetica, seria B, nr. 4, 1995.

Referent : dr. ing. Eugeniu Pavel - preşedintele Colegiului de redacţie al revistei Energetica

(Primit la 7 mai 1996, acceptat la 15 octombrie 1996)

OPTIMIZAREA DIMENSIONĂRII ŞI CONTROLULUI CAPACITĂŢILOR ŞUNT PENTRU COMPENSARE LA NIVELUL FEEDERILOR DE DISTRIBUŢIE

conf. dr. ing. ION MIRCEA; ş.l. ing. LEONARDO - GEO MĂNESCU *

Lucrarea prezintă o contribuţie nouă la optimizarea alegerii şi controlului capacităţilor şunt utilizate pentru reducerea pierderilor de distribuţie pe feederii de distribuţie. Variaţia neliniară a curentului în spaţiu se presupune a fi de tip pătratic, caz în care funcţia de reducere a pierderilor ce trebuie maximizată este puternic neliniară.

Pentru a maximiza această funcţie se aplică teorema normei minime în cadrul tehnicii de optimizare a analizei funcţionale. Sistemul de ecuaţii obţinut este rezolvat iterativ cu metoda gradientului conjugat. Au fost comparate rezultatele cu cele date în literatura de specialitate pentru o distribuţie uniformă a curentului, considerându-se reducerea mărimii condensatoarelor şi a pierderilor pe feederi.

This paper presents new contributions to the optimization of the size and control setting of continuous capacitors on distribution feeders to reduce energy losses in the feeders. The current profile is assumed to be a nonlinear function of the distance from the substation, we assume a quadratic function for the current profile. As a result, the loss reduction function to be maximized is a highly nonlinear function. We apply the minimum norm theorem in the framework of functional analysis optimization technique to maximize this function. A set of linear equations is obtained and is solved iteratively using the conjugate-gradient methods. We compare our results with that obtained for a uniform current profile that has been done in the literature. Our contribution show a saving in the size of the capacitors and great loss reductions in the feeder.

Descriptori: reţele de distribuţie, compensarea puterii reactive

Introducere

Circulaţia puterii reactive pe feederii de distribuţie produce pierderi de energie, aşa încât compensarea puterii reactive a reprezentat totdeauna un subiect important pentru energeticienii de distribuţie. Aducerea acestor pierderi la un nivel cât mai redus se realizează, de obicei, prin instalarea de baterii de condensatoare.

Majoritatea studiilor legate de amplasarea capacităţii publicate presupun o distribuţie uniformă a sarcinii reactive pe feeder [1 - 7]. Estimarea coeficienţilor funcţiei ce defineşte profilul curentului se face cu metoda celor mai mici pătrate (LS) sau cu valoarea absolută minimă (LAV).

În această lucrare curentul se consideră o funcţie neliniară de distanţă, mai exact dependenţa se consideră de tip pătratic. Parametrii acestei funcţii pătratice se calculează cu algoritmul de estimare al celor mai mici pătrate din variaţia sarcinii reactive cu distanţa.

1. Pierderile de energie pentru o distribuţie neliniară a sarcinii reactive

Curentul reactiv pe feeder într-un punct oarecare se presupune a fi o funcţie neliniară în raport cu distanţa măsurată de la capătul de început al feederului de tipul (fig.1):

$$i = a + bx + cx^2, \quad 0 \le x \le 1 \tag{1}$$

unde: a, b, c sunt constante determinabile, după cum s-a amintit anterior;

x - distanţa (raportată la lungimea liniei), măsurată de la capătul de început al liniei.

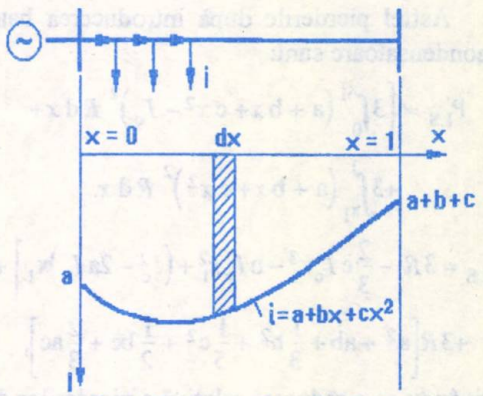


Fig.1. Sarcina uniform distribuită.

* Facultatea de Electrotehnică, Universitatea Craiova.

Pierderile pe un tronson tipizat de feeder de lungime dx, aflat la distanța x se determină cu relația:

$$d P_{LS} = 3(a + b x + c x^2)^2 R\, d x, \qquad (2)$$

unde R reprezintă rezistența lineică a feederului.

Deci pierderile pe întregul feeder se pot găsi prin integrare:

$$P_{LS} = 3\int_0^1 \left(a + b x + c x^2\right)^2 R\, d x \qquad (3)$$

sau:

$$P_{LS} = 3R\left[a^2 + ab + \frac{1}{3}b^2 + \frac{1}{5}c^2 + \frac{1}{2}bc + \frac{2}{3}ac\right]. \qquad (4)$$

2. Reducerea pierderilor cu o singură baterie de condensatoare

Dacă pe feeder se conectează o baterie de condensatoare, așa cum se arată în figura 2, distribuția curentului se modifică și se reduc pierderile. În acest caz legea de variație a curentului poate fi exprimată matematic cu:

$$i = \begin{cases} a + b x + c x^2 - I_c & 0 \le x \le x_1 \\ a + b x + c x^2 & x_1 < x \le 1 \end{cases} \qquad (5)$$

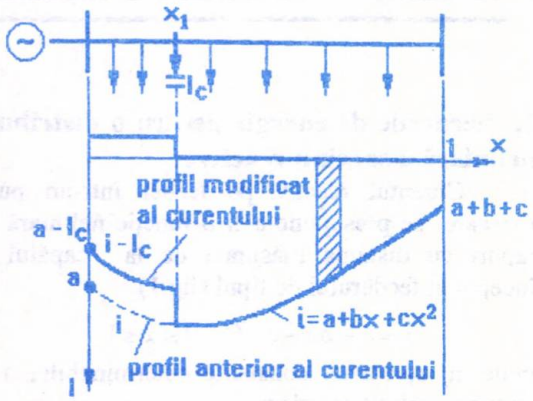


Fig.2. Reducerea pierderilor cu o baterie de condensatoare pentru o distribuție neliniară de reactiv.

Astfel pierderile după introducerea bateriei de condensatoare sunt:

$$P'_{LS} = \left[3\int_0^{x_1} \left(a + b x + c x^2 - I_c\right)^2 R\, d x + \right. \qquad (6)$$

$$\left. + 3\int_{x_1}^1 \left(a + b x + c x^2\right)^2 R\, d x. \right.$$

$$P'_{LS} = 3R\left[-\frac{2}{3}c I_c x_1^3 - b I_c x_1^2 + \left(I_c^2 - 2a I_c\right)x_1\right] + \qquad (7)$$

$$+ 3R\left[a^2 + ab + \frac{1}{3}b^2 + \frac{1}{5}c^2 + \frac{1}{2}bc + \frac{2}{3}ac\right],$$

obținându-se o reducere relativă a pierderilor de:

$$\Delta P''_{LS} = \frac{P'_{LS} - P_{LS}}{P_{LS}} < 0 \qquad (8)$$

care se poate exprima cu:

$$\Delta P_{LS} = K\left[-\frac{2}{3}c I_c \cdot x_1^3 - b I_c x_1^2 + \left(I_c^2 - 2a I_c\right)x_1\right] \qquad (9)$$

unde:

$$K = \left(a^2 + ab + \frac{1}{3}b^2 + \frac{1}{5}c^2 + \frac{1}{2}bc + \frac{2}{3}ac\right) = \frac{P_{LS}}{3R}$$

Funcția anterioară este neliniară în raport cu distanța x_1 și cu mărimea condensatorului caracterizată prin I_c.

3. Reducerea pierderilor cu două baterii de condensatoare

Se consideră două baterii de condensatoare identice conectate continuu la feeder (fig.3). Distribuția curentului pe linie se modifică și astfel pierderile devin:

$$P'_{LS} = 3R\left[\int_0^{x_2} \left(a - 2I_c + b x + c x^2\right)^2 d x + \int_{x_2}^{x_1} \left(a - \right.\right. \qquad (10)$$

$$\left.\left. - I_c + b x + c x^2\right)^2 d x + \int_{x_1}^1 \left(a + b x + c x^2\right)^2 d x\right]$$

care se poate scrie:

$$P'_{LS} = 3R\left[\left(I_c^2 - 2a I_c\right)x_1 + \left(3I_c^2 - 2a I_c\right)x_2 + b I_c x_1^2 - \right.$$

$$\left. - b I_c x_2^2 - \frac{2}{3}c I_c \cdot x_1^3 - \frac{2}{3}c I_c x_2^3\right] + P_{LS} \qquad (11)$$

și diferența pierderilor calculată cu relația (8) devine:

$$\Delta P_{LS} = K\left[I_c^2 - 2a I_c\right)x_1 + \left(3I_c^2 - 2a I_c\right)x_2 - b I_c x_1^2 - \right.$$

$$\left. - b I_c x_2^2 - \frac{2}{3}c I_c x_1^3 - \frac{2}{3}c I_c x_2^3\right] \qquad (12)$$

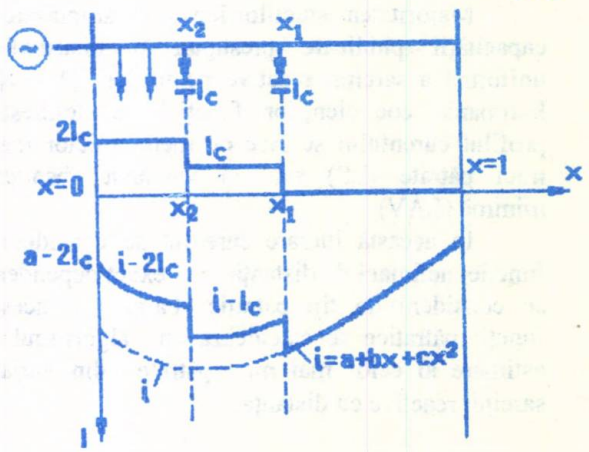


Fig.3. Reducerea pierderilor cu două baterii de condensatoare.

4. Reducerea pierderilor cu mai multe baterii de condensatoare

Prin compararea relaţiilor (9) şi (12) se obţine ecuaţia generală a reducerii pierderilor pentru un feeder cu *n* baterii de condensatoare:

$$\Delta P_{LS} = K\left\{\sum_{i=1}^{n}\left[(2i-1)I_c^2 \cdot x_i - 2a\,I_c x_i - \right.\right. \quad (13)$$
$$\left.\left. -b\,I_c x_i^2 - \frac{2}{3}c\,I_c x_i^3\right]\right\}$$

unde:

x_i este distanţa relativă dintre bateria de condensatoare *i* şi capătul de început al feederului;

n - numărul total de baterii de condensatoare.

Se pune problema optimizării mărimii condensatoarelor I_c şi locului de amplasare a lor, încât să se minimizeze pierderile conform ecuaţiei (13). Dacă în această ecuaţie se introduc pseudovariabilele:

$$y_i = x_1^2, \qquad i = 1,2,\ldots,n \quad (14)$$

$$z_i = I_c \cdot x_i, \qquad i = 1,2,\ldots,n \quad (15)$$

$$g = I_2^2 \quad (16)$$

atunci (13) devine:

$$\Delta P_{LS} = K\left\{\sum_{i=1}^{n}\left[g(2i-1)x_i - 2a\,I_c x_i - \right.\right. \quad (17)$$
$$\left.\left. -b\,I_c\,y - \frac{2}{3}cz_i y_i\right]\right\}$$

S-a obţinut astfel o problemă de optimizare ce constă în maximizarea funcţiei (17) cu constrângerile de date (14), (15) şi (16).

5. Formularea normei minime [10]

Se poate formula o funcţie cost extinsă prin adăugarea constrângerilor din ecuaţiile (14) şi (15) la funcţia (17), prin multiplicatorii Lagrange λ_i şi μ_i şi prin factorul Ψ din ecuaţia (16), obţinându-se:

$$\Delta\tilde{P}_{LS} = K\left\{\sum_{i=1}^{n}\left[g(2i-1)x_i - 2a\,I_c x_i - b\,I_c\,y_i - \right.\right.$$
$$\left.\left. -\frac{2}{3}cz_i y_i + \lambda_i\left(y_i - x_i^2\right) + \mu_i\left(z_i - I_c x_i\right) + \psi\left(g - I_c^2\right)\right]\right\} \quad (18)$$

Definind vectorii coloană n x 1:

$$x = \left[x_1\ x_2 \ldots x_n\right]^T \quad (19)$$

$$y = \left[y_1\ y_2 \ldots y_n\right]^T \quad (20)$$

$$z = \left[z_1\ z_2 \ldots z_n\right]^T \quad (21)$$

$$\mu = \left[\mu_1\ \mu_2 \ldots \mu_n\right]^T \quad (22)$$

$$\lambda = \left[\lambda_1\ \lambda_2 \ldots \lambda_n\right]^T \quad (23)$$

$$I = \left[I_{11}\ I_{21} \ldots I_{n1}\right]^T, \qquad I_{i1} = I_c \quad (24)$$

$$\psi = \left[\psi_{11}\ \psi_{21} \ldots \psi_{n1}\right]^T, \qquad \psi_{i1} = \psi \quad (25)$$

$$g = \left[g_{11}\ g_{21} \ldots g_{n1}\right]^T, \qquad g_{i1} = g \quad (26)$$

$$M = [1\ 1\ \ldots\ 1] \quad (27)$$

şi matricea diagonală B(n x n) cu elementele:

$$b_{ii} = (2i-1) \qquad i = 1,2,\ldots,n \quad (28)$$

Funcţia cost (18) se poate pune sub forma:

$$\Delta\tilde{P}_{LS} = K\left[\frac{1}{2}g^T B x^T + \frac{1}{2}x^T B g - a\,x^T I - a\,I^T x - \right.$$
$$-\frac{1}{2}b\,I^T y - \frac{1}{2}b y^T I - \frac{1}{3}c y^T z - \frac{1}{3}c z^T y + \lambda^T y -$$
$$\left. -\lambda^T x^T \overline{H}\,x + \mu^T z - \mu^T I^T \overline{H}\,x + \psi M^T M g - \right.$$
$$\left. -\psi\,I^T M^T M I\right] \quad (29)$$

cu $\overline{H}$ matrice vector cu indice matricial variabil de la 1 la n pentru o dimensiune H de dimensiune n x n [15].

Se definesc vectorii:

$$X^T = \left[x^T, y^T, z^T, I^T, g^T\right] \quad (30)$$

$$R^T = \left[0, \lambda^T, \mu^T, 0, \psi, M^T, M\right] \quad (31)$$

$$L = \begin{bmatrix} -\lambda^T H & 0 & 0 & \left(-a - \frac{1}{2}\mu^T \overline{H}\right) & \frac{1}{2}B \\ 0 & 0 & -\frac{1}{3}c & -\frac{1}{2}b & 0 \\ 0 & -\frac{1}{3}c & 0 & 0 & 0 \\ \left(-a - \frac{1}{2}\mu^T \overline{H}\right) & -\frac{1}{2}b & 0 & -\psi M^T M & 0 \\ \frac{1}{2}B & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (32)$$

Astfel, funcţia cost din ecuaţia (29) devine:

$$\Delta\tilde{P}_{LS} = K\left[X^T L X + R^T X\right] \quad (33)$$

Definind vectorul V ca:

$$V = L^{-1} R \quad (34)$$

ecuaţia (33) se poate pune sub forma:

$$\Delta\tilde{P}_{LS} = K\left[\left(X+\frac{1}{2}V\right)^T L\left(X+\frac{1}{2}V\right)-\frac{1}{4}V^T LV\right] \quad (35)$$

Ultimul termen al ecuaţiei (35) este independent de X, încât ecuaţia (35) se poate scrie:

$$\Delta\tilde{P}_{LS} = K\left[\left(X+\frac{1}{2}V\right)^T L\left(X+\frac{1}{2}V\right)\right] \quad (36)$$

Ecuaţia (36) defineşte o normă în spaţiul Hilbert şi se poate scrie:

$$\Delta\tilde{P}_{LS} = \left\|X+\frac{1}{2}V\right\|_L \quad (37)$$

6. Soluţia optimă [10]

Pentru problema formulată în ecuaţia (37) există o soluţie unică, soluţia optimă.

Maximul se obţine, în mod evident, când norma este zero:

$$\left\|X+\frac{1}{2}V\right\| = 0 \quad (38)$$

şi făcând înlocuirea din (34) în (38) se obţine:

$$[R+2LX] = 0 \quad (39)$$

Prin explicitarea ecuaţiei (39) şi adăugarea constrângerilor din (14), (15) şi (16) se obţine:

$$(2i-1)g-2aI_c-2\lambda_i x_i-\mu_i I_c = 0, \quad i=1,2,...,n \quad (40)$$

$$\lambda_i = bI_c+\frac{2}{3}cz_i, \quad i=1,2,...,n \quad (41)$$

$$\mu_i = \frac{2}{3}cy_i, \quad i=1,2,...,n \quad (42)$$

$$-2a\sum_{i=1}^{n}x_i-b\sum_{i=1}^{n}y_i-\sum_{i=1}^{n}\mu_i x_i-2n\psi I_c = 0 \quad (43)$$

$$\sum_{i=1}^{n}(2i-1)x_i+n\psi = 0 \quad (44)$$

$$y_i = x_i^2, \quad i=1,2,...,n \quad (45)$$

$$z_i + I_c x_i, \quad i=1,2,...,n \quad (46)$$

$$g = I_c^2, \quad i=1,2,...,n \quad (47)$$

Ecuaţiile (40) ÷ (47) definesc complet mărimea şi amplasarea optimală a capacităţilor şunt.

În continuare se prezintă modul de rezolvare a acestui sistem de (7n+1) ecuaţii.

7. Algoritmul de rezolvare

Se presupun cunoscuţi parametrii a, b, c şi numărul de capacităţi conectate permanent pe linie. Pentru rezolvare se parcurg următorii paşi:

Pasul 1: Se alege o aproximare iniţială pentru x_i^0, i = 1,2, ..., n.

Pasul 2: Se rezolvă următoarele ecuaţii pentru a determina y_i, Ψ şi μ_i

$$y_i = x_i^2, i=1,2,...,n$$

$$\psi = -\frac{\sum_{i=1}^{n}(2i-1)x_i}{n}$$

$$\mu_i = \frac{2}{3}cy_i, \quad i=1,2,...,n$$

Pasul 3: Se rezolvă ecuaţia (43) pentru a găsi I_c

$$I_c = \frac{2a\sum_{i=1}^{n}x_i+b\sum_{i=1}^{n}y_i+\sum_{i=1}^{n}\mu_i x_i}{-2n\psi}$$

şi calculul lui z_i, λ_i, g din:

$$z_i = I_c x_i, \quad i=1,2,...,n$$

$$\lambda_i = bI_c+\frac{2}{3}cz_i, \quad i=1,2,...,n$$

$$g = I_c^2$$

Pasul 4: Se verifică ecuaţia (40). Dacă este satisfăcută cu precizia dorită, calculul se încheie. În caz contrar se trece la pasul 5.

Pasul 5: Se actualizează x_i cu:

$$x_i^{k+1} = x_i^k + \alpha\Delta x_i^k,$$

unde:

k este contorul de iteraţii;

Δx_i - condiţia calculată cu:

$$\Delta x_i = (2i-1)g-2aI_c-2\lambda_i x_i-\mu_i I_c, \quad i=1,2,...,n$$

unde α este factor ales pentru accelerarea convergenţei. Se trece apoi la pasul 2.

Exemplu

În cazul distribuţiei liniare a sarcinii reactive, pentru a putea face o comparaţie s-a ales pentru exemplificare feederul prezentat în [1], pentru care distribuţia spaţială a sarcinii reactive este dată în tabelul 1.

Tabelul 1

Distribuţia curentului reactiv normalizat

Distanţa normalizată x	Curentul reactiv normalizat
0,0000	1,000
0,0073	1,000
0,0219	0,890
0,0661	0,809
0,01074	0,702
0,2248	0,263
0,2784	0,119
0,4000	0,093
0,6836	0,079
1,0000	0,048

Valorile parametrilor a, b, c calculate cu algoritmul de estimare a celor mai mici pătrate sunt:

a = 0,97374 b = - 3,16857 c = 2,31614

În tabelul 2 se compară rezultatele obţinute cu o distribuţie pătratică a curentului, cu cele corespunzătoare unei distribuţii uniforme. Se constată că se obţine o reducere cu (2 ÷ 5) % a mărimii condensatoarelor care să realizeze aceeaşi reducere relativă a pierderilor. Amplasarea optimă pentru o distribuţie pătratică coincide cu cea obţinută pentru o distribuţie uniformă.

Tabelul 2

Comparaţie între distribuţia pătratică şi cea uniformă

	n	1	2		3			4				5				
Distribuţie pătratică	I_c [p·u]	0,614	0,378		0,273			0,2137				0,176				
	x_i [p·u]	0,2597	0,324	0,143	0,358	0,210	0,099	0,378	0,252	0,15161	0,0749	0,392	0,282	0,196	0,124	0,0594
	ΔP_{LS} [p·u]	0,87	0,952		0,976			0,9863				0,992				
Distribuţie uniformă	I_c [p·u]	0,67	0,4		0,286			0,222				0,197				
	x_i [p·u]	0,7003	0,7003	0,4202	0,703	0,4202	0,3	0,703	0,4202	0,3	0,2334	0,703	0,4202	0,3	0,2334	0,197
	ΔP_{LS} [p·u]	0,87	0,952		0,976			0,9863				0,992				

Concluzii

Principalele concluzii care se desprind din lucrare sunt:

❑ Pentru a determina mărimea şi amplasarea optimă a bateriilor de condensare şunt se utilizează o tehnică de optimizare a analizei funcţionale. Sistemul de ecuaţii neliniare este redus la un sistem liniar.

❑ Se utilizează o distribuţie neliniară a sarcinii reactive.

❑ Rezultă aceeaşi reducere a pierderilor ca în cazul repartizării uniforme a sarcinii, dar folosind baterii de condensatoare care au o capacitate cu (2 ÷ 5) % mai mică.

❑ Tehnica propriu-zisă poate fi aplicată la un sistem cu o distribuţie oarecare a sarcinii reactive în raport cu distanţa.

BIBLIOGRAFIE

[1] Solinan, S.A., Emam, S.E.A., Christiensen, G.S. *Optimization of size and control setting of shunt capacitors of distribution feeders.* Proceedings AMSE Conference, Istanbul, Turcia, 29 iunie 1988

[2] Grainger, J.J., Lee, S.H. *Optimum placement of fixed and/or switched capacitors on primary distribution feeders.* In: IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-100, 10.1, pp.345-352, 1981

[3] Grainger, J.J. Civanlar, S., Lee, S.H. *Optimal design and control scheme for continous capacitive compensation of distribution feeders.* In: IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-102, no. 10.1, pp.3271-3278, 1983

[4] Grainger, J.J., Lee, S.H. *Optimal capacitor placement on three-phase primary feeders Load and feeder unbalance effects.* In: IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-102, no.10.1, pp.3296-3205, 1983.

[5] Kaplan, M. *Optimization of number, location, size, control type and control settings of shunt capacitors on radial distribution feeders.* In: IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, vol PAS-102, pp.10-13, 1983.

[6] Salama, M.M., Chiknani, A.Y., Hackman, R. *Control of reactive power in distribution systems with an end fixed load condition.* In: IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, vol.PAS-104, no.10, pp.2779-2788, 1985

[7] Fawzi, T.H. Sobki, S.M. Abdel - Atalim, M.A. *New approach for the application of shunt capacitor to the primary distribution feeders.* In: IEEE Trans. on Power Apparatus and System, vol. PAS-102, no.1, pp. 10-13, 1983

[8] Rinker, R.E., Rembert, D.L. *Using the reactive current profile of a feeder to determine optimal capacitor placemnet.* In: IEEE Trans. on Power Delivery, vol. PWRD-3, no.1, pp.411-416, 1988

[9] Shamaly, A., Christensen, G.S., El-Hawary, M.A. *A transformation of necessary optimality conditions for systems with polinomial nonlinearities.* In: IEEE Trans on AC-24, pp. 983-985, 1979

[10] El-Hawary, M.A. Christensen, G.S. *Optimal economic operation of electric power systems.* Academic Press, New York, 1979.

Referent: Radu Constantin - GDTEE

(Primit la 23 februarie 1996, acceptat la 15 octombrie 1996)

❑

Tehnologie de determinare a acoperirii cu vopsea a stâlpilor metalici la LEA

Generalităţi

În prezent, în unităţile RENEL care dispun de LEA de 110-400 kV pe stâlpi metalici nu există în dotarea personalului de exploatare aparate sau dispozitive portabile pentru determinarea rapidă (măsurarea) a grosimii stratului de acoperire anticorosivă (grund, vopsea, zinc) aplicat pe profilele din oţel.

1. Tehnologia de determinare (control) a acoperirii stâlpilor metalici

În ICEMENERG* s-a elaborat o tehnologie specială pentru depistarea, printr-o metodă nedistructivă, a acoperirii de protectie anticorosivă a stâlpilor metalici, folosind un dispozitiv de măsurare cu traductor electromagnetic realizat în ICEMENERG şi omologat în fază de prototip.

1.1. Domeniul de aplicare

Tehnologia elaborată se va aplica în cazul următoarelor tipuri de stâlpi metalici ai LEA de 110 - 400 kV:

-stâlpi din oţel carbon protejaţi iniţial prin vopsea;

-stâlpi din oţel protejaţi iniţial prin zincare la cald;

-stâlpi din oţel protejaţi prin acoperiri combinate de zinc şi vopsea.

1.2. Determinarea grosimii stratului de acoperire a profilurilor de oţel

Determinarea grosimii stratului de acoperire (al peliculei uscate) a suprafeţelor metalice este reglementată prin standardul SR ISO 2808/1993 *Vopsele şi lacuri. Determinarea grosimii peliculei.* Aceasta prevede, între alte metode nedistructive, metoda electromagnetică pentru măsurarea stratului de vopsea aplicat pe oţel.

Tehnologia elaborată este în esenţă o instrucţiune tehnologică de lucru pentru personalul de exploatare şi de reparaţii din filialele RENEL pentru verificarea stării acoperirii profilurilor de oţel ale construcţiilor metalice din LEA şi staţiile electrice.

Tehnologia prevede pentru determinarea grosimii acoperirii profilurilor de oţel folosirea "Dispozitivului pentru determinarea grosimii stratului de vopsea aplicat pe oţel" tip DDGSVO, produs omologat în fază de prototip de ICEMENERG.

Dispozitivul DDGSVO este destinat controlului grosimii stratului de vopsea între 25μ şi 1500 μ (1,5 mm) aplicat pe profilurile rectangulare de oţel cu grosimea de minimum 1 mm, cu suprafeţe plate, cu lăţime de minimum 20 mm şi pe profilele rotunde cu raza de curbură de minimum 50 mm.

Poate fi folosit în condiţii satisfăcătoare şi pentru controlul grosimii stratului de zinc aplicat pe profilurile din oţel prin zincare la cald (mai mare de 43 μm), având în vedere că poate măsura şi straturi cu grosimi de ordinul a 25μm.

Dispozitivul (fig.1) se compune din traductorul electromagnetic debroşabil **1** şi dispozitivul propriu-zis. Dispozitivul propriu-zis este asamblat într-o cutie din plastic cu formă ergonomică **2**, având dimensiunile de gabarit 200 x 100 x 50mm. Masa dispozitivului împreună cu a traductorului este de circa 1kg.

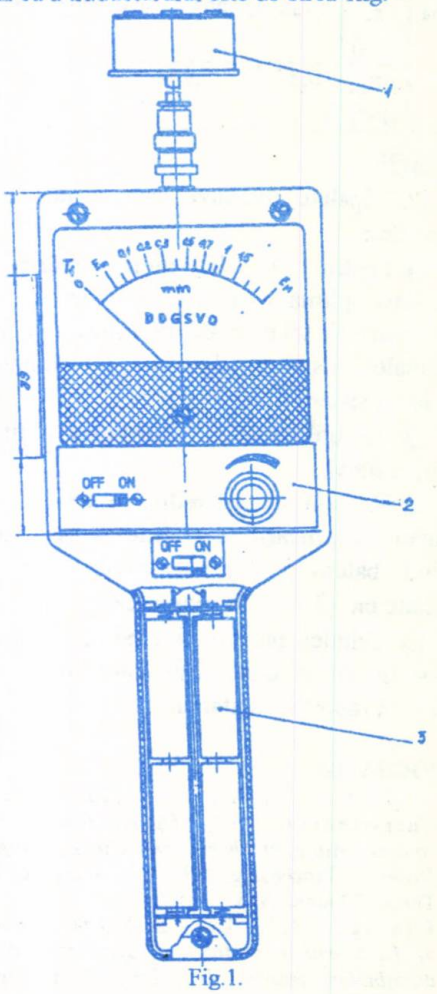


Fig.1.

* în prezent Grupul de Studii, Cercetare şi Ingineri - GSCI

În cutia de plastic este amplasată schema electromagnetică constând din:

-convertizorul de frecvenţă;

-amplificatorul electronic;

-instrumentul indicator (de măsurare);

-sursa de alimentare electrică 3 (baterie cu patru elemente R6x1, 5 V.c.c.)

Caracteristici:

• Domeniul de măsurare al dispozitivului: 0-1,5 mm, cu eroare maximă ± 5%.

• Domeniul frecvenţei de lucru a dispozitivului: 555-590 Hz (se stabileşte frecvenţa la o valoare fixă în acest interval).

• Domeniul temperaturilor de funcţionare: - 10°C. . . + 40°C.

• Domeniul temperaturilor de stocare: - 20°C. . . + 50°C.

• Umiditate relativă de funcţionare: (65+20) % la 20°C.

Dispozitivul DDGSVO funcţionează după metoda electromagnetică şi măsoară întregul ansamblu de acoperire aplicat pe profilurile de oţel: grund şi vopsea sau zinc şi vopsea. El măsoară, deci, grosimea totală a acoperirii în zonele în care nu s-a îndepărtat rugina sau vopseaua veche şi peste care s-a aplicat vopseaua nouă.

Dispozitivul măsoară grosimea în ansamblu a acoperirii profilurilor de oţel, inclusiv grosimea băşicilor, încreţiturilor, exfolierilor, neregularităţilor existente la suprafaţa acoperirii.

Tehnologia de control al acoperirii folosind dispozitivul DDGSVO poate pune în evidenţă date utile pe baza cărora se poate aprecia gradul de corodare a suprafeţei profilului de oţel analizat (adâncimea de pătrundere a coroziunii) şi modul în care trebuie curăţată şi pregătită suprafaţa profilului de oţel pe care urmează a se aplica o nouă protecţie anticorosivă.

1.3. Facilităţi şi avantaje ale aplicării tehnologiei de control cu folosirea dispozitivului DDGSVO

Dispozitivul DDGSVO este portabil, are o masă redusă şi poate fi uşor folosit în SITU la diverse înălţimi faţă de sol, prin urcarea de către utilizator pe construcţiile metalice (stâlpii metalici din LEA şi staţii).

El are un consum electric redus - maximum 25 mA, ceea ce face ca un set de baterii uscate să asigure funcţionarea continuă a dispozitivului un timp de minimum 20 ore.

Funcţionarea dispozitivului nu este influenţată de umiditatea relativă a aerului, dar se recomandă să nu se efectueze măsurători pe timp de ploaie.

Măsurarea cu acest dispozitiv nu este influenţată de praful din atmosferă, acesta nederanjând funcţionarea traductorului şi dispozitivului de măsurare.

Deoarece dispozitivul este alimentat de la o baterie sursă de c.c. de 6 V, iar tensiunea alternativă de lucru a schemei electronice nu depăşeşte 20 V c.a. nu se pune problema riscului de electrocutare a utilizatorului.

În condiţiile în care se lucrează pe instalaţii electrice scoase de sub tensiune manevrarea dispozitivului pe suprafaţa profilurilor de oţel nu prezintă riscuri de electrocutare pentru utilizator.

Tehnologia de control se poate folosi în instalaţii aflate în funcţiune (sub tensiune), deoarece dispozitivul DDGSVO nu este influenţat de câmpuri electrice cu valori de până la 20 kV/m şi de câmpuri magnetice cu inducţii până la 2 mT. În aceste condiţii utilizatorul va respecta prevederile instrucţiunilor de protecţia muncii PE-119 şi instrucţiunile tehnologice de lucru sub tensiune, specifice pentru fiecare lucrare în parte (la LEA şi staţii electrice).

Concluzii

♦ Metoda electromagnetică folosită la tehnologia de control menţionată, împreună cu dispozitivul DDGSVO reprezintă o noutate în RENEL. Aceste dispozitive de măsurare vor intra în dotarea unităţilor de exploatare şi reparaţii.

♦ Tehnologia de control bazată pe folosirea dispozitivului DDGSVO pune în evidenţă atât deficienţele de acoperire ale profilurilor de oţel (grosimi insuficiente - sub 0,025 mm şi grosimi neuniforme aplicate, variind de la 0,50 mm la 0,15 mm în puncte apropiate la câţiva centrimetri unul de altul), cât şi existenţa coroziunii profilurilor de oţel.

♦ Dispozitivul DDGSVO prezintă o precizie deosebită la măsurarea acoperirii profilurilor metalice în comparaţie cu dispozitivele bazate pe folosirea ultrasunetelor, care dau erori la măsurare în cazul existenţei unui strat de rugină pe profilurile respective.

ing. CONSTANTIN MUNTEANU
Grupul de Studii, Cercetare şi Inginerie - GSCI

Nota autorului. În anul 1996, în cadrul GSCI a fost construită o variantă îmbunătăţită a dispozitivului prezentat. Noul dispozitiv DDGSVO are afişaj electronic şi un design modern.

Materiale noi necesare aplicării tehnologiilor de mentenanţă la instalaţiile energetice

GSCI - CCE - ICEMENERG, prin Laboratorul Tehnologii Procese Chimice şi Materiale Noi în Energie (LPC), cercetează şi elaborează materiale noi, cu performanţe calitative ridicate, competitive cu cele din import, utilizate în stabilirea unor tehnologii de mentenanţă la instalaţiile energetice.

În 1995 s-au omologat, pe baza cercetărilor efectuate, următoarele materiale noi:

- soluţie ignifugă APSA C 2, destinată protecţiei contra incendiilor a cablurilor electrice, a elementelor de zidărie şi a sistemelor constructive utilizate pentru impiedicarea incendiilor;
- etanşanţi pentru suprafeţele planurilor de separaţie, utilizaţi la etanşarea reductoarelor pompelor de vid, pompelor de păcură şi a altor suprafeţe de etanşare care lucrează în medii petroliere;
- materiale de etanşare pentru ferestrele de vizitare ale concasoarelor din gospodăriile de cărbune;
- şnururi expandate, utilizate la etanşarea cutiilor cu echipamente ale transformatoarelor;
- compoziţie autolubrifiantă pe bază de fluoroplaste, pentru pompele de circulaţie cu dublu lagăr la grupurile de 200 MW;
- produs anticrustă şi dispersant pentru circuitele de răcire cu conducte de alamă.

Soluţia ignifugă APSA C-2

În instalaţiile electrice, precum şi în alte instalaţii există frecvent pericolul de apariţie a incendiilor, datorită curenţilor puternici care trec prin cabluri şi căldurii degajate în urma suprasarcinilor. De aceea s-a impus luarea de măsuri de împiedicare a apariţiei şi propagării incendiilor prin acoperiri de protecţie împotriva flăcărilor.

CCE - ICEMENERG - LPC a realizat o astfel de soluţie ignifugă APSA C, destinată protecţiei traseelor de cabluri, care a primit aviz favorabil din partea Comandamentului Pompierilor şi care este folosită cu rezultate bune atât în filialele RENEL, cât şi în alte domenii de activitate.

APSA C, însă, conţine în compoziţie azbest fulgi şi datorită restricţiilor naţionale şi internaţionale de utilizare a azbestului, materie primă nocivă, a apărut necesitatea elaborării unor soluţii ignifuge fără azbest.

În urma cercetărilor efectuate a fost elaborată soluţia ignifugă APSA C 2, fără azbest, care îndeplineşte următoarele condiţii:

- împiedică propagarea flăcărilor;
- la acţiunea flăcărilor nu degajă gaze toxice;
- este flexibilă, suportând mişcarea cablurilor;
- este rezistentă la îmbătrânire;
- nu conţine substanţe toxice sau inflamabile;
- nu-şi pierde proprietăţile după expunerea la radiaţii.

Parametrii calitativi ai soluţiei ignifuge APSA C 2 sunt redaţi în tabelul 1.

Soluţia ignifugă APSA C-2 este un produs pe bază de răşini polivinilice cu uscare la aer. Aplicarea produsului se face pe suprafeţe uscate, prin pensulare sau pulverizare cu aer cu pistol de Ø 6 mm, presiune $5 \cdot 10^5$ Pa, în patru straturi. Timpul de uscare între straturi este de 24 ore la 20°C şi 65 % umiditate.

Tabelul 1

Nr.crt.	Denumirea caracteristicii	U/M	Valoare	Metoda de determinare
0	1	2	3	4
1.	Soluţia ignifugă APSA C 2			
1.1.	Culoare	-	lichid vâscos de la alb la alb-cenuşiu	Vizual
1.2.	Timp de scurgere	s	90 - 105	STAS 2096-68
1.3.	Reziduu uscat	%	68 - 72	STAS 8728/1-79
1.4.	pH	-	7 ± 0,5	STAS 7948/8-83
1.5.	Densitate	-	1,45 ± 0,1	STAS 8622-88
2.	Pelicula de protecţie APSA C 2			
2.1.	Comportarea la foc -cabluri cu izolaţie din PVC, manta PVC -cabluri cu izolaţie din PE, manta PVC	- -	Categoria A Categoria C	SRCEI 332-3/93
2.2.	Rigiditate dielectrică, min.	kV/mm	2,5	STAS 6257-80
2.3.	Rezistenţa la variaţii de temperatură	-	corespunde	STAS 2489-69 10 cicluri termice: o oră la -20°C alternând cu o oră la + 120°C
2.4.	Rezistenţa la îmbătrânire accelerată	-	corespunde	STAS 5752-82 un ciclu de 3 zile la 100°C
2.5.	Flexibilitate	-	corespunde	STAS 8778/1-85
2.6.	Timp de uscare, 22°C, min. -tip E	 min.	 75	 STAS 2875-75
2.7.	Duritate	°Sh A	75 ± 2	STAS 5441/2-80

După aplicarea ultimului strat de soluţie ignifugă pelicula protectoare se lasă în repaus trei zile.

Efecte economice:

- reducerea costurilor materiale determinate de producerea incendiilor, în situaţia în care nu este utilizată soluţia ignifugă de protecţie;
- scăderea costurilor materiale necesare realizării măsurilor de protecţie contra incendiilor;
- reducerea consumurilor materiale datorită fiabilităţii crescute a noii soluţii ignifuge;
- reducerea importurilor.

Etanşanţi pentru suprafeţele planurilor de separaţie tip EPS-26

Lucările de punere în funcţiune sau de reparaţii ale grupurilor energetice, impun asigurarea etanşeităţii sistemelor ce lucrează în diferite medii: petrolier, abur, apă etc.

Etanşeitatea acestor sisteme se realizează cu materiale de import, etanşanţi pastă sau fluizi cu vâscozitate ridicată şi etanşanţi solizi pe bază de cauciuc.

Etanşanţii pastă, deşi au o permeabilitate redusă la mediul de lucru, prezintă pericolul alunecării, iar garniturile din cauciuc, deşi asigură o bună separaţie, prezintă pericolul de a fi dislocate, dacă nu au fost corect executate sau dacă strângerea şuruburilor nu a fost făcută uniform.

Materialele etanşante produse în ţară nu pot fi executate în condiţiile specifice funcţionării instalaţiilor energetice.

CCE-ICEMENERG - LPC a realizat un material de etanşare pentru planurile de separaţie ale reductoarelor pompelor de vid, pompelor de păcură şi alte suprafeţe de etanşare din medii petroliere, produs bicomponent format dintr-o soluţie etanşantă şi un agent de reticulare.

Parametrii calitativi sunt daţi în tabelul 2.

Aplicarea produsului se realizează conform tehnologiei de aplicare întocmită de elaborator, care va însoţi produsul la livrare.

Eficienţa economică:

- creşte durata de funcţionare a pompelor la care se aplică etanşantul;
- se reduc cheltuielile de manoperă şi materiale prin mărirea timpului de funcţionare a utilajelor fără intervenţii în sistemul de etanşare;
- se reduce importul.

Materiale de etanşare pentru ferestrele de vizitare ale concasoarelor din gospodăriile de cărbune

Materialele de etanşare pentru ferestrele de vizitare ale concasoarelor din gospodăriile de cărbune, trebuie să prezinte multiple proprietăţi pentru a face faţă condiţiilor de lucru ale utilajelor: o bună deformabilitate în scopul adaptării, rezistenţă mare la compresiune, rezistenţă la şoc, la uzură, permeabilitate cât mai redusă la mediul etanşant.

În general, pentru aceste scopuri se folosesc fie garnituri elastice, care produc o bună etanşare, dar prezintă dezavantajul unei rezistenţe mecanice scăzute, fie garnituri cu formă stabilă, care au o bună durabilitate şi rezistenţă la uzură, dar calitatea etanşării nu este satisfăcătoare.

CCE-ICEMENERG - LPC a realizat un material de etanşare expandat pentru ferestrele de vizitare ale concasoarelor din gospodăriile de cărbune şi un adeziv corespunzător acestui material.

Deci produsul se combune din benzi din cauciuc expandat şi soluţie adezivă elastometrică.

Tabelul 2

Nr.crt.	Denumirea caracteristicii	U/M	Valoare	Metoda de analiză
1.	Soluţia etanşantă SE			
1.1.	Aspect	-	lichid alb-gri omogen	Vizual
1.2.	Vıscozitate	s	32 - 42	STAS 6615/1-84
1.3.	Conţinut în substanţă uscată	%	81 ± 2	STAS 10053-75
1.4.	Densitatea aparentă D_4^{20}	-	1,27 ± 0,10	STAS 35-81
2.	Agent de reticulare AR			
2.1.	Aspect	-	lichid limpede de la galben-verzui la brun-verzui	Vizual
2.2.	Vıscozitate	s	90 ± 5	STAS 6615/1-84
2.3	Densitatea aparentă D_4^{20}	-	1,0 ± 0,1	STAS 35-81
3.	Pelicula de etanşant EPS-26			
3.1.	Rezistenţa peliculei la lichide, min. -apă distilată -soluţie salină	ore	 500 500	STAS 2313-76
3.2.	Rezistenţa peliculei la ulei mineral, min.	ore	500	STAS 2994-69
3.3.	Timp de uscare, max. -tip D -tip E	 ore ore	 5 6,5	STAS 2875-75

Caracteristicile de calitate ale materialelor sunt prezentate în tabelele 3 şi 4.

Tabelul 3

Caracteristicile tehnice de calitate pentru benzile din cauciuc expandant

Nr. crt.	Denumirea caracteristicii	U/M	Valoare	Metoda de determinare
1.1.	Densitatea aparentă	g/cm^3	0,4 - 0,6	STAS 10406-75
1.2.	Deformaţia permanentă la compresiune	%	10	STAS 7413-75
1.3.	Variaţia rezistenţei la compresiune după îmbătrânire	%	± 20	STAS 7413-75
1.4.	Rezistenţa la temperatură scăzută - 40°C	-	corespunzătoare, nu apar fisuri vizibile cu ochiul liber	STAS 7413-75

Tabelul 4

Caracteristici tehnice de calitate pentru soluţia adezivă elastomerică

Nr. crt.	Denumirea caracteristicii	U/M	Valoare	Metoda de determinare
2.1.	Aspect	-	lichid omogen crem	Vizual
2.2.	Densitate aparentă, D_4^{20}	-	1,24±0,1	STAS 35-81
2.3.	Vâscozitate, 23°C	s	60	STAS 6615/1-84
2.4.	Conţinut în substanţă uscată	%	17 ± 1	STAS 6615/2-84

Materialele de etanşare se aplică conform tehnologiei de aplicare întocmită de elaborator, care însoţeşte materialele la livrare.

Eficienţa economică:

- creşterea fiabilităţii etanşărilor;
- mărirea timpului de funcţionare a utilajelor fără intervenţii la sistemul de etanşare;
- reducerea cheltuielilor de lucru a personalului prin eliminarea noxelor cauzate de praful de cărbune.

Şnururi expandate utilizate la etanşarea cutiilor cu echipamente ale transformatoarelor

O parte din echipamentele staţiilor electrice exterioare sunt amplasate în cabine metalice. Accesul la echipamentele amplasate în aceste cabine se face prin intermediul uşilor laterale sau al capacelor amplasate în partea superioară a acestora.

Un rol important în asigurarea protecţiei echipamentelor amplasate în cabinele metalice din compunerea staţiilor exterioare faţă de factorii de agresiune ai mediului atmosferic îl au garniturile de etanşare ce se montează pe marginile capacelor şi uşilor cabinelor. Acest tip de etanşare intră în categoria etanşărilor de protecţie şi se prezintă, în general, sub formă de garnituri de tip şnur de secţiuni diverse, realizate din material expandat.

Compoziţiile pe bază de elastomeri constituie grupa principală de materiale utilizate pentru execuţia de protecţie. Garniturile expandate, realizate pe bază de elastomeri, au capacitatea de a se adapta uşor la contactul cu suprafeţele metalice şi pot suporta deformări mari, fără ca prin aceasta să rezulte solicitări apreciabile.

Conform recomandărilor din literatura de specialitate tehnologiile cele mai răspândite utilizate pentru vulcanizarea acestui tip de garnituri sunt tehnologiile de vulcanizare în flux continuu, pe instalaţii de vulcanizare cu băi de săruri topite sau pe instalaţii de vulcanizare cu microunde. Acest tip de instalaţii prezintă avantajul că asigură productivităţi mari, dar sunt foarte costisitoare şi necesită spaţii de producţie mari.

S-a urmărit stabilirea tehnologiei de fabricaţie a patru tipodimensiuni de garnituri (folosite pentru etanşarea cabinelor cu echipamente electrice existente în toate staţiile de transformare exterioare din ţară) în cadrul IRMEB-SA, apelând la eforturi financiare minime pentru completarea dotărilor existente.

Pentru definitivarea tehnologiei, încercările tehnologice s-au efectuat utilizând dotările existente în cadrul LPC şi IRMEB-SA.

Vulcanizarea garniturilor s-a realizat în flux discontinuu, într-o incintă de vulcanizare izotermă, proiectată şi realizată în GSCI - CCE-ICEMENERG. Această incintă de vulcanizare este încălzită electric, fiind prevăzută cu aparatură de reglare şi control al temperaturii de vulcanizare. Lăţimea incintei şi a corpului matriţei permite vulcanizarea simultană (funcţie de lăţimea garniturii) a 3- 5 unităţi de lungime. Lungimea activă a matriţei fiind de 90 cm, la o vulcanizare se pot obţine între 2,7 - 4,5 m garnitură, capacitatea de producţie a unei astfel de incinte de vulcanizare putând fi cuprinsă între 40 - 70 m/zi (în cazul lucrului în două schimburi).

Vulcanizarea semifabricatului într-o asemenea incintă izotermă se produce fără aport de presiune din exterior şi are loc concomitent cu expandarea garniturii în matriţă.

Calitatea produsului finit este influenţată atât de factori constructivi ce privesc incinta de vulcanizare, filierele de extrudere şi matriţele, cât şi de factori ce privesc proprietăţile de prelucrare şi vulcanizare ale amestecului de cauciuc.

Caracteristicile fizico-chimice şi mecanice ale garniturilor din cauciuc expandat sunt cele din tabelul 5.

Tabelul 5

Nr.crt.	Caracteristica	Valoarea
1.	Densitate aparentă, g/cm^3	0,6-0,8
2.	Deformare permanentă la compresie la o deformare de 50 %, timp de 22 h, la temperatura camerei, %, max.	10
3.	Variaţia rezistenţei la compresiune la o deformare de 25 %, după îmbătrânire în aer cald, 168 h, la 70 ^{0}C,%,max.	±25
4.	Variaţia rezistenţei la compresiune la o deformare de 25 %, după 10 şocuri termice (minus 30±1°C alternând cu plus 110 ± 1°C), %, max.	±20
5.	Rezistenţa la temperatură scăzută(-40^0 C)	după încercare să nu apară fisuri
6.	Absorbţie de apă la temperatura camerei după 24 h, % , max.	4

Eficienţă economică:

- asigurarea unei protecţii mai bune faţă de intemperiile atmosferice a echipamentelor montate în cabinele metalice din compunerea staţiilor exterioare;
- valoarea producţiei marfă înregistrată la producător, având în vedere necesarul anual mare de astfel de garnituri.

Compoziţie autolubrifiantă pentru realizarea sau recondiţionarea lagărelor axiale ale pompelor de circulaţie

Staniul se numără printre materialele deficitare pe piaţa mondială, fiind totodată unul din cele mai des întâlnite materiale utilizate în construcţia lagărelor de alunecare.

În scopul reducerii consumului de staniu, CCE-ICEMENERG-LPC a pus la punct o compoziţie înlocuitoare pe bază de teflon şi o tehnologie proprie de placare sau recondiţionare a lagărelor de alunecare. Probată cu deosebit succes în cazul lagărelor axiale ale hidrogeneratoarelor, soluţia a fost extinsă şi la lagărele axiale ale unor pompe de circulaţie de tipul celor care alimentează grupurile de 300 MW Turceni, EPA 43 şi grupurile de 200 MW Rovinari, EPA 200 CHM.

S-au realizat astfel lagăre axiale cu noua compoziţie pe bază de teflon, cu care s-au echipat pompele amintite mai sus.

Lagărul axial pentru pompa EPA 43 Turceni, este format din şapte segmenţi de lagăr dispuşi pe un sector circular, iar lagărul axial pentru pompa 200 CHM este format din 16 segmenţi de lagăr dispuşi câte opt pe două sectoare circulare, formând un lagăr dublu axial.

Lagărele realizate au funcţionat în condiţii normale de lucru, corespunzând din punctul de vedere al siguranţei în exploatare şi al fiabilităţii.

Din experimentările efectuate până în prezent, soluţia descrisă se poate utiliza cu succes la realizarea sau recondiţionarea segmenţilor de lagăr axial ai unor pompe cu următorii parametrii:

- turaţia: maximum 5000 rot/min;
- temperatura uleiului în lagăr : maximum 100°C;
- încărcări axiale: maximum 30 kgf/cm^2.

Eficienţă economică:

- utilizarea compoziţiei pe bază de teflon la lagărele axiale ale pompelor reprezintă, pe lângă economia de staniu, şi o creştere a fiabilităţii şi a siguranţei în exploatare, prin îmbunătăţirea regimului de frecare (în special la porniri) şi în cazul preluării şocurilor;
- de asemenea, se mai realizează o economie atât de material, cât mai ales de manoperă, prin aceea că se pot recondiţiona segmenţii de lagăr uzaţi.

Produs anticrustă şi dispersant pentru circuitele de răcire cu conductele de alamă

Condiţionarea apelor de răcire din circuitele de răcire de tipul "închis" implică prevenirea depunerii crustelor pe suprafeţele metalice şi micşorarea coroziunii metalului în contact cu apa.

Depunerile de săruri în echipamentele de răcire duc la înrăutăţirea transferului de căldură, coroziunea suprafeţelor acoperite de crustă, scurtarea circuitului de funcţionare a instalaţiilor, ca urmare a reviziilor dese, şi la creşterea cheltuielilor de întreţinere.

Produsul anticrustă şi dispersant ABF 2 realizat în cadrul GSCI - CCE-ICEMENERG - LPC trebuie să îndeplinească următoarele condiţii:

- să fie complet solubil în apă la temperatura ambiantă şi să nu spumeze în contact cu apa;
- să prevină depunerea formării crustelor minerale prin efectul de chelatizare pe care-l realizează acesta cu cationii metalici din apă-randamentul de inhibare a depunerilor de săruri minerale trebuie să fie de minimum 80 %;
- să asigure dispersia depozitelor existente în instalaţie, formate din suspensii solide.

Produsul anticrustă şi dispersant a fost obţinut în urma unei sinteze prin procedee de laborator cunoscute şi prezintă caracteristicile fizico-chimice din tabelul 6.

Tabelul 6

Nr. crt.	Caracteristica	U/M	Condiţii de admisibilitate
1	Aspect fizic	-	masă cristalină albă
2	Solubilitate	-	complet solubil în apă la concentraţia şi temperatura de utilizare
3	pH (soluţie 1:1)	-	1 - 1,5
4	Randamentul de inhibare a depunerilor de carbonat de calciu, min.	%	80

Indiferent de gradul de mineralizare al apei s-a demonstrat, pe baza testelor efectuate, că eficienţa de inhibare a produsului anticrustă şi dispersant are valori de peste 80 % la un conţinut suficient de mic de substanţă activă în fluxul de apă (10 ppm).

Produsul anticrustă şi dispersant poate fi folosit în orice ramură a industriei unde se foloseşte apa pentru a realiza transferul excesului de căldură.

Eficienţa economică:

- asigură o protecţie superioară a echipamentelor industriale împortiva depunerilor provocate de apa de răcire;
- micşorează consumul de apă brută prin realizarea transferului termic corespunzător;
- se evită curăţirea chimică a crustelor ţevilor şi conductelor în cadrul reviziilor anuale.

Materialele realizate se introduc în fabricaţie de serie la IRME- Bucureşti S.A., de unde se pot procura pe bază de comenzi ferme.

ing. Lelian Cioroianu, chim. Gabriela Cioroianu, ing. Ioan Săuleac, ing. Rodica Albişor, ing. Adriana Bantaş

GSCI - CCE - ICEMENERG Laboratorul Tehnologii şi Procese Chimice - LPC

Informaţii

În numărul 6, seria A/1996, al revistei Energetica au apărut următoarele materiale

RADU OPINCARU, MIRCEA CÂRDU, GABRIEL ROMAŞCU: Prezentarea mesei rotunde "Ameliorarea performanţelor echipamentelor termoenergetice

VLADIMIR GHEORGHICESCU, GICĂ ILIE: Utilizarea rezervelor suprafeţelor de transfer de căldură ale cazanelor de 420 t/h - lignit, transformate la funcţionarea pe hidrocarburi pentru ridicarea capacităţii termice la cazanele de 420 t/h - CET Progresul

VLADIMIR GHEORGHICESCU, GICĂ ILIE: Conversia cazanelor energetice din reţeaua RENEL funcţionând pe lignit inferior pentru funcţionarea pe huilă. Particularizare pentru cazanul 420 t/h - lignit

RADU FLORESCU, TUDOR PRISECARU, LUCIAN MIHĂESCU, CONSTANTIN NEAGA, MĂLINA PRISECARU: Analiza teoretică şi experimentală a performanţelor termogazodinamice şi anticorosive ale preîncălzitoarelor de aer neconvenţionale (ceramice)

DAN PILAT: Asupra întocmirii studiilor de fezabilitate privind proiectele energetice

PETRE TERZI: Optimizarea echipării şi funcţionării punctelor de transformare termică din sistemele urbane de alimentare cu căldură

INFORMAŢII

MIRCEA CÂRDU: Comentarii privind lucrările prezentate la Seminarul Siemens KWU din 25 octombrie 1994 de la Bucureşti

CUPRINSUL GENERAL AL REVISTEI ENERGETICA, SERIA A, PE ANUL 1996

INDICE DE AUTORI PENTRU ARTICOLELE APĂRUTE ÎN REVISTA ENERGETICA, SERIA A, PE ANUL 1996

UNIPEDE (Union Internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie Électrique) este o organizaţie profesională internaţională implicată în problemele industriei energiei electrice. Cuprinde peste 50 de ţări din Europa şi din alte continente. Cu ajutorul a circa 1400 specialişti şi experţi, efectuează analize şi expertize în domeniul electroenergeticii.

Principalele obiective ale UNIPEDE sunt:

1 - să promoveze imaginea industriei electroenergetice;

2 - să ajute membrii săi să furnizeze consumatorilor energie electrică în cele mai bune condiţii posibile şi să se preocupe constant de îmbunătăţirea calităţii serviciilor;

3 - să promoveze îmbunătăţirea mijloacelor de producere, transport, distribuţie şi utilizare a energiei electrice;

4 - să activeze în interesul comun al membrilor la nivel internaţional;

5 - să stabilească şi să menţină contacte pentru cooperare, cu alte organizaţii regionale care reprezintă industria electroenergetică.

În general UNIPEDE publică rapoarte care sunt rezultatul activităţii sale de expertiză; acestea reprezintă pentru subiectele de interes comun una dintre cele mai directe metode de răspândire şi circulaţie a cunoştinţelor şi informaţiilor din sector.

Primim de la UNIPEDE

UNIPEDE - Informations Internationales sur le secteur électrique

Madame, Monsieur,

Vous n'êtes sûrement pas sans ignorer que l'UNIPEDE est une association professionnelle internationale constituant un forum où converge l'expertise du secteur électrique. Plusieurs centaines d'experts appartenant à des entreprises d'électricité de plus de 50 pays mettent leur savoir-faire à la disposition de l'UNIPEDE afin de le diffuser à l'intérieur et à l'extérieur du secteur électrique. Les résultats de cette vaste structure d'expertise sont régulièrement publiés sous forme de rapports disponibles au Secrétariat de Paris.

Afin d'améliorer la diffusion et la circulation du potential de ces rapports, nous souhaiterions renforcer le contact direct avec les magazines nationaux les plus importants dans les domaines de l'électricité et de l'énergie.

.....

Si vous avez des questions ou si vous désirez parcourir quelques rapports (à titre gracieux !) afin de rédiger un article détaillé sur un thème précis, n'hésitez pas à me contacter ou à contacte Mlle Astrid Fortsbauer de notre Unité Documentation.

.....

En espérant que nous parviendrons ainsi à l'avenir à renforcer les contacts entre votre magazine et notre Secrétariat, nous restons dans l'attente d'un écho positif de votre part.

Nous vous prions d'agréer, Madame, Monsieur, l'expression de nos sentiments distingués.

Ernst WIDRIG
Consilier Principal

Prezentăm în continuare câteva titluri şi rezultate ale noilor rapoarte UNIPEDE.

EURPROG 1996

Prévisions et investissements dans le secteur électrique européen (1995-2010)

L'UNIPEDE et EURELECTRIC ont récemment publié la 24éme édition de leur rapport EURPROG, qui constitue une source de référence d'informations détaillées sur la structure, les programmes et les perspectives du secteur électrique européen. Pour la deuxiéme fois, ce rapport comprend aussi des données en provenance des pays nordiques et du CENTREL, ce qui porte à 21 le nombre de pays européens couverts. Ce rapport de 235 pages (en anglais) offre des faits, des chiffres et des commentaires pour chaque pays pour les années 1990-95, 2000, 2005 et 2010 dans les **domaines** suivants :

- Conditions de base pour la planification dans les différents pays
- Développements structurels au sein du secteur électrique
- Aperçu macro-économique et énergétique pays par pays
- Programmes et perspectives de production (moyen et long terme jusqu'à l'an 2010) pays par pays et par type d'équipement de production
- Solde de puissance et solde énergétique pour l'électricité
- Liste des principales mises en exploitation pays par pays (1994-2010)

• Prévisions sectorielles de la consommation d'électricité pays par pays

Le rapport EURPROG est un "must" pour les managers, les experts et les consultants s'occupant de prévision et de planification stratégique dans le secteur électrique. EURPROG est aussi un ouvrage de référence contenant des informations pour les hommes politiques et les spécialistes de politique énergétique au niveau européen.

Réf. 21001Ren9607 / mai 1996 - 235 pp., anglais
Price : 300 FRF membres / 3 00 non membres

***

Baromètre de l'électricité 1996

Après un galop d'essai réussi en 1995, les Correspondants Statistiques de l'UNIPEDE ont mis à jour le "Baromètre de l'électricité". Sur la base d'une enquête réalisée au sein de 42 pays au printemps 1996, ce rapport offre des informations quantitatives sur la situation de l'électricité dans ces pays en 1995, ainsi que des perspectives pour 1996.

Pays par pays, les indicateurs-clefs suivants sont indiqués :

- consommation d'électricité par secteur,
- électricité par type de production,
- répartition de la puissance de production nette maximum,
- importations et exportations d'électricité,
- charge de pointe,
- PIB,
- part de marché de l'électricité.

Dans sa partie analytique, le rapport se concentre surtout sur la situation des pays européens.

Réf. 32000Ren9624 / mai 1996 - 31 pp., anglais
Prix : 100 FRF pour les membres / 200 FRF pour les non membres

***

Effets du marché déréglementé de l'électricité sur les ressources humaines

Cette étude vous donnera une vue d'ensemble de l'expérience de quatre entreprises d'électricité lorsqu'elles sont passées d'un monopole réglementé (national, régional, local et municipal) au libre marché, en particulier au niveau de l'incidence sur les ressources humaines.

Bien que la portée de l'étude soit limitée par le nombre restreint d'entreprises concernées, il semble possible de tirer des conclusions dans le domaine de l'évolution des compétences, des attitudes, des valeurs et des structures organisationnelles.

On estime que ces expériences peuvent avoir valeur de conseils pour d'autres entreprises d'électricité qui n'ont pas encore connu cette transition.

Réf. 09000Ren9622 / mai 1996 - 20 pp., anglais
Prix : 150 FRF pour les membres / 300 FRF pour les non membres

Environnement et responsabilité civile

Ce rapport donne une vue d'ensemble de plusieurs législations nationales dans le domaine de la responsabilité civile pour dommages à l'environnement. Il se concentre aussi sur les conditions d'une "Evaluation de l'incidence sur l'environnement" s'appliquant aux projets concernant les installations du secteur électrique qui doivent être soumis à une autorisation préalable. Enfin, le rapport tire des conclusions des réponses faites par 10 entreprises membres en matière de responsabilité civile pour dommages causés par la pollution des sols.

Réf. 08300Ren9612 / avril 1996 - 17 pp. + 350 annexes, anglais
Prix : 200 FRF pour les membres / 400 FRF pour les non membres

***

Régime juridique de l'autoproduction et de la cogénération

On observe actuellement dans de nombreux pays membres de l'UNIPEDE une nette augmentation des installations d'autoproduction. Cela s'explique par de multiples raisons : l'accent mis par la politique environnementale sur les énergies renouvelables et la cogénération ainsi que l'amélioration des capacités techniques des centrales concernées.

L'étude menée par le Groupe permanent Juridique montre que dans tous les pays concernés, l'autoproduction à partir des énergies renouvelables et sur la base de la cogénération est autorisée par la loi. L'excédent d'électricité doit généralement être acheté par l'entreprise d'électricité locale.

La plupart des pays interrogés fondent leurs tarifs sur des directives juridiques, sinon, les tarifs sont déterminés par des recommandations gouvernementales et des accords volontaires entre les groupes d'intérêt concernés ou entre l'Etat et le secteur électrique. Dans la quasi totalité des pays, l'électricité provenant des centrales à cogénération est achetée sur

la base du principe des coûts évités aux entreprises d'électricité. Les tarifs d'achat pour les énergies renouvelables sont plus élevés que les coûts évités, sauf en France.

Le régime juridique spécifique de l'autoproduction dans chaque pays ne peut que découler de leurs structures organisationnelles respectives. En général, dans les secteurs électriques où l'on trouve un monopole national et où il existe une planification à long terme de la puissance, l'autorisation des autoproducteurs est plus restreinte que dans les systèmes électriques dotés d'une structure pluraliste. Dans les pays où de nouvelles réglementations sur l'autoproduction ont été récemment introduites ou sont en cours d'élaboration, l'objectif est d'obtenir une proportion plus élevée d'énergies renouvelables et de cogénération. En outre, cette étude approfondit l'autorisation de construire des installations d'autoproduction, les conditions d'accès au réseau, les conditions d'achat et le cadre des tarifs d'achat.

Réf. 08300Red9601 / mars 1996 - 62 pp., anglais/allemand
Prix : 200 FRF pour les membres / 400 FRF pour les non membres

Réglementation sur l'utilisation des rues et des voies publiques pour les lignes de distribution de l'électricité dans les pays membres de l'UE

Vous trouverez dans ce rapport les résultats d'une enquête effectuée auprès des membres des Groupes Juridiques de l'UNIPEDE et d'EURELECTRIC sur les questions juridiques dans le but de donner un aperçu des réglementations régissant l'utilisation des rues et des voies publiques pour la fourniture d'électricité dans chaque pays de l'UE.

Réf. 08300Red9602 / mars 1996 - 45 pp. + 150 annexes, anglais/allemand
Prix : 100 FRF pour les membres / 200 FRF pour les non membres

***

Droits et obligations du producteur d'électricité

Le Groupe permanent Juridique a déjà réalisé différentes études directement liées aux droits et obligations du producteur d'électricité. Parmi ces études, on en compte une dont le titre est "Responsabilité des distributeurs vis-à-vis des consommateurs au niveau de la qualité de la fourniture d'électricité" (Réf. 08300Ref9302 - 1993).

Egalement en 1993, le Groupe a présenté un rapport sur le "Statut juridique des entreprises d'électricité en Europe", qui portait sur d'importants sujets tels que la propriété (publique, privée ou mixte) des entreprises de chaque pays, sa forme juridique, les droits de fournir de l'électricité, les licences et les autorisations.

Une étude plus spécifique a donc été faite sur les droits et obligations du producteur d'électricité, à savoir: quelles sont les obligations juridiques contractées par l'entité lorsqu'elle décide de fournir de l'électricité, quels sont ses droits lorsqu'elle est confrontée à d'éventuels abus de la part du consommateur, et quelle est l'origine, la source de ces droits et obligations, la loi ou une convention entre les parties concernées (le contrat de fourniture).

Réf. 08300Ren9628 / mai 1996 - 13 pp. + 300 annexes, anglais
Prix : 200 FRF pour les membres / 400 FRF pour les non membres

Résidus de faible volume provenant des centrales thermiques

Outre les résidus de combustion et de désulfuration, les résidus des centrales thermiques se présentent sous forme de boues, huiles, solvants, résines, filtres, etc. L'élimination des déchets devenant de plus en plus préoccupante dans la majorité des pays, le Groupe d'experts : gestion des résidus de l'UNIPEDE s'est penché sur ces résidus afin de promouvoir des méthodes plus efficaces de minimisation de la production, de tri et de recyclage.

Ce rapport comprend une étude (dans 10 pays) sur la production annuelle et le sort des résidus.

Réf. 02005Ren9629 / juillet 1996 - 12 pp., anglais
Prix : 100 FRF pour les membres / 200 FRF pour les non membres

Tous les rapports ci-dessus sont disponibles à l'adresse suivante :
UNIPEDE
28, rue Jacques Ibert 75858 Paris
Unité Documentation Astrid Forstbauer
Fax : + 33 1 40 42 60 52

Revista Energetica a primit un catalog cuprinzând lucrările publicate de UNIPEDE în perioada octombrie 1995 - iulie 1996, precum şi pe cele prevăzute a fi publicate în continuare, catalog care poate fi consultat la redacţia revistei.

Prezentăm în continuare agenda evenimentelor viitoare ale UNIPEDE, pentru ultimele luni ale anului 1996 şi pentru anul 1997.

Agenda of future UNIPEDE events

Date	Place	Theme	Contact
3-4 October 1996	Monaco	Conference on Financial Management in the Electricity Supply Industry	Corinne TURQUIN Tel.: +33 1 40 42 29 20 Fax: + 33 1 40 42 60 53
27 October - 9 November 1996	Cologne	IX UNIPEDE/USW International Seminar for Senior Executives - Strategy Management	John SCOWCROFT Tel.: + 33 1 40 42 63 51 Fax: + 33 1 40 42 60 52
13 - 15 November 1996	Budapest	II Conference on the Development and Operation of Interconnected Power Systems	Christine MATHIEU Tel: + 33 1 40 42 74 01 Fax: + 33 1 40 42 60 52
25 - 26 November 1996	Darmstadt	Workshop on Medium-Voltage Cables	Jessica TRUCHE Tel.: + 33 1 40 42 77 68 Fax: + 33 1 40 40 60 52
Two 1 -Day Environmental Seminars • 27 November 1996 • 28 November 1996	Paris	Managing and pricing the Environment Managing the Environment ?What Price the Environment?	Christine MATHIEU Tel: +33 1 40 42 74 01 Fax: + 33 1 40 42 60 52
28 - 29 November 1996	Salzburg	Workshop on Tariffs	Louise PURCELL Tel.: + 33 1 40 42 30 16 Fax.: + 33 1 40 42 60 52
18 - 22 May 1997	Montreux	XXIV UNIPEDE Congress Electricity on the move - an industry manages its responsibilities	Laurence KONSTANIANTZ Tel: + 33 1 40 42 55 35 Fax: + 33 1 40 42 60 52
7 - 20 September 1997	Cologne	X UNIPEDE/USW International Seminar for Senior Executives- Strategy Management	Corinne TURQUIN Tel.: +33 2 40 42 29 20 Fax: + 33 1 40 42 60 53

Pentru informaţii suplimentare adresaţi-vă la:
Sylvie QUEINNEC - UNIPEDE Documentation - 28,
rue Jacques Ibert - 75858 PARI S Cedex 17
Tel: + 33 1 40 42 60 65
Fax: + 33 1 40 42 60 52

ANUNŢ IMPORTANT !

Începând din data de 15 noiembrie 1996 se pot reînnoi cererile de abonamente la revista Energetica pentru anul 1997.

Pentru relaţii suplimentare vă puteţi adresa la GSCI - CIDE, Serviciul Contracte - Marketing, tel. 323.67.30 int. 143, sau la redacţia revistei tel. 321.69.66 int. 149.

Inaugurarea Centrului de Aplicaţii pentru Sistemul de Iluminat

La 18.09 1996 a avut loc la Universitatea Tehnică de Construcţii, Facultatea de Instalaţii, Catedra de Luminotehnică şi Instalaţii Electrice, inaugurarea CENTRULUI DE APLICAŢII PENTRU SISTEME DE ILUMINAT - CASI, realizat de firma PHILIPS, rod al colaborării fructuoase dintre cei doi parteneri.

CASI a fost conceput de LIDAC-PHILIPS Eindhoven (prin Jan Recker, director van Bommel) cu consultanţa Catedrei de Luminotehnică şi Instalaţii Electrice (prof. dr. ing. C. Bianchi), după modelul original creat în 1991 la Eindhoven şi a fost realizat la un nivel tehnic deosebit de firma ABC Grup Com. SRL- director dl. Cristian Ştefan.

CASI cuprinde modele la scara 1:1 pentru sisteme de iluminat destinate clădirilor, precum şi o expoziţie permanentă de surse şi corpuri de iluminat PHILIPS, fiind destinat demonstraţiilor tehnice, pregătirii universitare şi post-universitare.

Este important de subliniat că este primul centru din lume realizat de PHILIPS în cadrul unei universităţi, oferind facilităţi deosebite pentru învăţământul superior şi cercetare.

Inaugurarea a fost realizată în conexiune cu Seminarul Internaţional organizat de Comitetul Naţional Român de Iluminat intitulat "Ambientul luminos".

La prezidiul deschiderii oficiale au participat numeroase personalităţi printre care:

-academician dr. ing. Marius Peculea- secretar general al Academiei Române;

-prof. dr. ing. Petre Pătruţ, rectorul Universităţii Tehnice de Construcţii Bucureşti;

-W. J. M. van Bommel, director LIDAC şi vicepreşedinte al CIE;

-prof. dr. ing Cornel Bianchi, şef catedră luminotehnică şi preşedinte CNRI;

-prof. dr. ing. Niculae Mira, decanul Facultăţii de Instalaţii;

-Romeo Balestra, director general PHILIPS România;

-D. P. Smedema, director PHILIPS pentru Europa de Est ;

-Martin de Jager, director PHILIPS LIGHTING -România ;

-dr. ing. Ladislau Oberst, vicepreşedinte CNRI, director ELBA ;

-ing. Gabriel Năstase, consilier tehnic la preşedinţie ;

-prof. dr. ing. Dragoş Hera, prodecanul Facultăţii de Instalaţii.

În alocuţiunile prezentate a fost subliniată importanţa acestei realizări pentru domeniul luminotehnicii în România.

S-a subliniat ideea conexiunii biunivoce dintre prestigioasa firmă PHILIPS şi învăţământ-cercetare, cale benefică pentru progresul domeniului luminotehnicii în România.

De asemenea, au fost aduse mulţumiri firmei PHILIPS pentru eforturile deosebite, tehnice şi financiare făcute pentru cooperarea de excepţie realizată.

În prezenţa personalităţilor menţionate a avut loc deschiderea efectivă (tăierea panglicii - Cornel Bianchi şi Martin de Jager) şi prima prezentare realizată la o înaltă ţinută universitară de către as. ing. Adriana Georgescu, responsabila CASI din partea Universităţii Tehnice de Construcţii Bucureşti. În zilele următoare (19 şi 20 septembrie) prezentările au continuat la acelaşi nivel deosebit, fiind realizate de as. ing. Adriana Georgescu şi as. ing. Hrisia Moroldo.

prof. dr. ing. CORNEL BIANCHI - preşedintele CNRI

CUPRINS GENERAL AL REVISTEI ENERGETICA, SERIA B , PE ANUL 1996

EDITORIALE

1. Corneliu Pâslaru: Editorial, nr. 1, p. 3 (număr special "Tehnologii noi de mentenanţă ")
2. Dorin Cristescu, Laurenţiu Goia: Masă rotundă "Compatibilitatea electromagnetică", nr. 2, p. 59 (număr special " Compatibilitatea electromagnetică")
3. Virgil Muşatescu, Nicolae Liciu: Masă rotundă "Legislaţia energetică", nr. 3, p. 105 (număr special "Legislaţia energetică")

I. ORIENTĂRI ÎN ENERGETICĂ

1. Ion Conecini, Corneliu Pâslaru, Radu Constantin: Concepţia GTDEE privind trecerea de la mentenanţa preventivă la cea bazată pe fiabilitate, nr.1, p. 27 (număr special "Tehnologii noi de mentenanţă")
2. Ion Conecini, Nicolae Golovanov, Ion Lungu, Ştefan Gheorghe: Aspecte privind calitatea energiei electrice şi monitorizarea acesteia, nr. 2, p. 91 (număr special "Compatibilitatea electromagnetică")
3. Paul Cartianu: Analiza legislaţiei în domeniul energiei din perioada interbelică în România, nr. 3, p. 107 (număr special "Legislaţia energetică")
4. George St. Panaitescu: Tarifele de energie electrică în perioada interbelică în contextul legislaţiei energetice (1920 - 1940), nr. 3, p. 111 (număr special "Legislaţia energetică")
5. Răzvan Purdilă: Restructurare şi legislaţie energetică. Dileme şi soluţii posibile pentru România, nr. 3, p. 115 (număr special "Legislaţia energetică")
6. Jean Constantinescu: Opţiuni de organizare a pieţei electricităţii în România - serviciu public, integrare competitie, nr. 3, p. 121 (număr special "Legislaţia energetică")
7. Gheorghe Indre: Principii şi aspecte care trebuie avute în vedere într-un proiect de lege a energiei, nr. 3, p. 126 (număr special "Legislaţia energetică")
8. Ion Iordănescu: Probleme actuale privind relaţiile furnizorului de energie electrică cu consumatorii în economia de piaţă, nr. 3, p. 130 (număr special "Legislaţia energetică")
9. Dan Ion Predoiu: Costul marginal, un reper esenţial pentru aprecierea activităţii de producţie, nr. 3, p. 146 (număr special "Legislaţia energetică")

II. ENERGETICA ÎN UNITĂŢI ECONOMICE

1. Romulus Sfichi: Optimizarea costului unei instalaţii de filtrare - compensare pentru receptoare inductive şi deformante, nr. 2, p. 65 (număr special " Compatibilitatea electromagnetică")
2. Carmen Golovanov, Nicolae Golovanov, Aurelian Calotoiu: Aparatele electrocasnice - surse de poluare armonică, nr. 2, p. 70 (număr special " Compatibilitatea electromagnetică")
3. Marilena Ungureanu, Cornel Toader, Ştefania Ioan, Radu Popa, Mircea Scurariu: Perturbaţii electromagnetice produse de consumatorii racordaţi la reşelele de joasă şi medie tensiune. Efectul utilizării tehnologiilor moderne la consumatori, nr. 2, p. 77 (număr special " Compatibilitatea electromagnetică")

III. DEZVOLTAREA SISTEMELOR ELECTRO-ENERGETICE

1. Anca Popescu, Manfred Stein, Dan Anastasiu: Unele consideraţii privind condiţiile şi criteriile de dimensionare a reţelelor de secţionare telecomandate, nr. 5, p. 235 (număr special "Optimizarea funcţionării reţelelor electrice")
2. Gabriel Bazacliu, Theodor Miclescu, Jean Constantinescu, Virgil Dumbravă: Model matematic şi metodă de rezolvare pentru programarea funcţionării optime a sistemului energetic naţional (SEN), pe perioade medii de timp, nr.6, p. 257

IV. CONDUCEREA ŞI AUTOMATICA SISTEMELOR ELECTROENERGETICE

1. Dan Zlatanovici : Proceduri de supraveghere şi diagnoză "on-line", gestiune de date şi mentenanţă predictivă la generatoarele electrice de mare putere, nr.1, p. 11 (număr special "Tehnologii noi de mentenanţă")
2. Gabriel Bazacliu, Theodor Miclescu, Marius Pomârleanu, Virgil Dumbravă, Alexandru Itoafă: Program de calcul şi metode euristice pentru rezolvarea problemei programării funcţionării optime a sistemului energetic naţional (SEN) pe perioade medii de timp, nr. 5, p. 208 (număr special "Optimizarea funcţionării reţelelor electrice")
3. Alexandru Itoafă, Cristina Popescu: Programarea funcţionării optimale a SEN pe perioade medii de timp, nr. 5, p. 217 (număr special "Optimizarea funcţionării reţelelor electrice")
4. Rodica Balaurescu: Verificarea siguranţei în funcţionare la declanşări de grupuri. Program de calcul al regimului post-dinamic, nr. 5, p. 222 (număr special "Optimizarea funcţionării reţelelor electrice")
5. Mircea Scripcariu, Daniela Scripcariu: Cu privire la oportunitatea economică a utilizării separatoarelor de secţionare telecomandate, nr. 5, p. 239 (număr special "Optimizarea funcţionării reţelelor electrice")
6. Ion Mircea, Leonardo - Geo Mănescu: Optimizarea dimensionării şi controlului capacităţilor şunt pentru compensare la nivelul feederilor de distribuţie , nr. 6, p. 273

V. CENTRALE TERMOELECTRTICE

1. Roxana Palade, Victor Teodoroiu, Marian Vlădescu: Diagnoza asistată de calculator - condiţii de realizare la instalaţiile de turbine cu abur, nr. 1, p. 4 (număr special "Tehnologii noi de mentenanţă")
2. Filip Engster , Horaţiu Spînoche, Vladimir Berzan: Metode de diagnoză a stării izolaţiilor statorice ale maşinilor electrice, nr. 1, p. 20 (număr special "Tehnologii noi de mentenanţă")
3. Peter Simon: Noi realizări şi tendinţe în domeniul fabricaţiei şi retehnologizării turbogeneratoarelor, nr. 4, p. 157 (număr special " Echipament electroenergetic. Solicitări şi soluţii")

VI. CENTRALE HIDROELECTRICE

1. Gheorghe Luca: Aspectele legislaţiei energetice în raport cu folosinţele amenajărilor hidroenergetice, nr. 3, p. 143 (număr special "Legislaţia energetică")
2. Marius Constantinescu: Solicitări torsionale în funcţionarea turboagregatului de 800 MVA de la CNE Cernavodă, nr. 4, p. 164 (număr special "Echipament electroenergetic. Solicitări şi soluţii")

VIII. REŢELE ELECTRICE

1. Cristian Fezi , Mircea Silaghi , Sorin Piciu , Cristian Budu, Nistor Nica: Tehnologie pentru depistarea din elicopter a contactelor defecte la LEA prin termografie în infraroşu, nr. 1, p. 31 (număr special "Tehnologii noi de mentenanţă")
2. Eugen Mihalcea, Lucian Ciupuliga: Estimarea periodicităţii optime a reviziilor întrerupătoarelor de medie tensiune cu ulei puţin , nr. 1, p. 38 (număr special "Tehnologii noi de mentenanţă")
3. Cristian Sorin Pispiris: Tehnologii de diagnoză a liniilor electrice în cablu, nr.1, p. 45 (număr special "Tehnologii noi de mentenanţă")
4. Dorin Cristescu, Marilena Ungureanu: Nivelul perturbaţiilor în LEA din România. Aspecte statistice şi practice, nr.2, p. 60 (număr special " Compatibilitatea electromagnetică")
5. Constantin Moldoveanu, Constantin Radu, Viorel Grigoriu, Vlad Roşca: Soluţie pentru evitarea defectării înfăşurării terţiare la autotransformatoarele de 200/200/ 60 MVA 231/121/10,5 kV la scurtcircuite monofazate în reţele de 110 kV şi 220 kV, nr. 4, p. 172 (număr special "Echipament electroenergetic. Solicitări şi soluţii")
6. Romulus Sfichi: Calculul de dimensionare a unei instalaţii de filtrare - compensare în ipoteza egalităţii inductanţelor bobinelor circuitelor filtrante, nr. 4, p. 180 (număr special "Echipament electroenergetic. Solicitări şi soluţii")
7. Paul Svasta, Virgil Golumbeanu, Daniel Leonescu: Solicitarea electrică a condensatoarelor, nr. 4, p. 183 (număr special "Echipament electroenergetic. Solicitări şi soluţii")
8. Ioan Andreica, Laurean Preda, Daniela Popescu: Unele aspecte ale managementului reţelelor electrice de distribuţie cu ajutorul gestiunii grafice, nr. 4, p. 189 (număr special "Echipament electroenergetic. Solicitări şi soluţii")
9. Ion Tristiu, Alain Germond, Mircea Eremia, Constantin Bulac: Reconfiguration multicritère pour l'optimisation du fonctionnement des reseaux electriques de distribution, nr. 5, p.201 (număr special "Optimizarea funcţionării reţelelor electric")
10. Virgil Dumbravă, Theodor Miclescu, Gabriel Bazacliu: Stabilirea schemelor debuclate de funcţionare în reţelele de distribuţie complexe folosind metode euristice, nr. 5, p. 226 (număr special "Optimizarea funcţionării reţelelor electrice")
11. Mihai Gavrilaş, Gheorghe Georgescu: Utilizarea algoritmilor genetici pentru determinarea schemei optime de funcţionare a reţelelor de distribuţie urbană, nr. 6, p. 249
12. Virgil Dumbravă, Theodor Miclescu, Gabriel Bazacliu: Algoritm secvenţial pentru proiectarea coanfiguraţiei traseelor reţelelor electrice urbane de distribuţie buclate, nr. 6, p. 268

XII. PROTECŢIA MEDIULUI

1. Virgil Golumbeanu, Paul Svasta, Norocel-Dragoş Codreanu: Subansambluri de placă de cablaj iprimat - PCB (Printed Cables Board) cu compatibilitate electromagnetică ridicată a liniei de alimentare, nr. 2, p. 85 (număr special " Compatibilitatea electromagnetică")
2. Ovidiu Ţuţuianu: Impactul legislaţiei de protecţie a mediului asupra sectorului energetic, nr. 3, p. 134 (număr special "Legislaţia energetică")
3. Marin Victor, Eleonora Ataman: Impactul termo-centralelor asupra mediului înconjurător, nr. 3, p . 139 (număr special "Legislaţia energetică")

XVI. INFORMAŢII

1. Andrei Marinescu, Silvia Popescu: Activitatea laboratorului de înaltă tensiune LIT - ICMET Craiova în domeniul compatibilităţii electromagnetice, nr. 2, p. 97 (număr special "Compatibilitatea electromagnetică")
2. Anton Roşu: Concepţia despre rolul ştiinţei în interacţiune cu cercetarea, proiectarea şi exploatarea centralelor electrice din Germania, nr. 3, p. 114 (număr special "Legislaţia energetică")
3. Viorel Titihăzan, Viorel Negru, Mariana Titihăzan: Ecranarea electromagnetică a laboratoarelor de înaltă tensiune - cerinţă esenţială în contextul compatibilităţii electromagnetice, nr. 4, p. 193 (număr special "Echipament electroenergetic. Solicitări şi soluţii")
4. Costin Rucăreanu: Alimentarea cu energie electrică a tunelului de sub Marea Mânecii, nr. 4, p. 196 (număr special "Echipament electroenergetic. Solicitări şi soluţii")
5. Ambrozie Itoafă, Mihaela-Dincă Panaitescu, Rodica Blahoianu, George Manolescu: Aspecte mai importante privind planificarea reţelelor electrice de repartiţie, nr.5, p. 225 (număr special "Optimizarea funcţionării reţelelor electrice")
6. Constantin Munteanu: Tehnologie de determinare a acoperirii cu vopsea a stâlpilor metalici la liniile electrice aeriene (LEA), nr. 6. p. 278
7. Lelian Cioroianu, Gabriela Cioroianu, Ioan Săuleac, Rodica Albişor, George Barbu, Adrian Bantaş: Materiale noi necesare aplicării tehnologiilor de mentenanţă la instalaţiile energetice, nr. 6, p. 280
8. * * * UNIPEDE, nr.6, p. 285

XXII. RECENZII

1. Cornel Sfetcu, Cornel Bianchi : x x x "Philips Lighting Manual", Eindhoven, 1993, nr. 1, p. 10, 19 (număr special "Tehnologii noi de mentenanţă")
2. Adriana Georgescu, Cornel Bianchi: x x x "History of Light and Lighting", Eindhoven, 1986, nr. 1, p. 37(număr special "Tehnologii noi de mentenanţă")
3. Hrisia Moroldo, Cornel Bianchi : Vandeplanque, P. "L'eclairage notions de base - project d'installations". Ed. TEC - DOC - LAVOISIER, Londra - Paris - New York, 1993, nr. 1, p. 54 (număr special "Tehnologii noi de mentenanţă")

XXIV. PRIMIM DE LA . . .

1. Comitetul Membru Român al UNIPEDE, nr. 2, p. 69
2. Programul SINERGY, nr. 2, p. 100

XXV. MANIFESTĂRI TEHNICO-ŞTIINŢIFICE

1. Cornel Bianchi: Inaugurarea Centrului de Aplicaţii pentru sisteme de Iluminat, nr. 6, p. 289

INDICELE AUTORILOR ARTICOLELOR APĂRUTE ÎN REVISTA ENERGETICA, SERIA B, PE ANUL 1996

Albişor Rodica, nr. 6, p. 280 (XVI, 7)
Anastasiu Dan, nr. 5, p. 235 (III, 1)
Andreica Ioan, nr. 4, p. 189 (VIII, 8)
Ataman Eleonora, nr. 4, p. 139 (XII, 3)

Balaurescu Rodica, nr. 5, p. 222 (IV, 4)
Bantaş Adrian, nr. 6, p. 280 (XVI, 7)
Barbu George, nr. 6, p. 280 (XVI, 7)
Bazacliu Gabriel, nr. 5, p. 208 (IV, 2), nr.5, p. 226 (VIII,10), nr. 6, p. 257 (III, 2), nr. 6, p. 268 (VIII, 12)
Berzan Vladimir, nr. 1, p. 20 (V, 2)
Bianchi Cornel, nr. 1, p. 10 (XXII, 1), nr. 1, p. 37 (XXII, 2), nr. 1, p. 54 (XXII, 3), nr. 6, p. 289, (XXV, 1)
Blahoianu Rodica, nr. 5, p. 225 (XVI, 5)
Budu Cristtian, nr. 1, p.31 (VIII, 1)
Bulac Constantin, nr. 5, p. 201 (VIII, 9)

Calotoiu Aurelian , nr. 2, p. 70 (II, 2)
Cartianu Paul, nr. 3, p. 107 (I, 3)
Cioroianu Gabriela, nr. 6, p. 280 (XVI, 7)
Cioroianu Lelian , nr. 6, p. 280 (XVI, 7)
Ciupuliga Lucian, nr. 1, p. 38 (VIII, 2)
Codreanu Norocel-Dragoş , nr. 2, p. 85 (XII, 1)
Conecini Ion, nr. 1, p. 27 (I, 1), nr. 2, p. 91 (I, 2)
Constantinescu Jean, nr. 3, p. 121 (I, 6), nr. 6, p. 257 (III, 2)
Constantinescu Marius, nr. 3, p. 164 (VI, 2)
Cristescu Dorin, nr. 2, p. 59 (Editorial, 2), nr. 2, p. 60 (VIII, 4)

Dincă Panaitescu Mihaela, nr. 5, p. 225 (XVI, 5)
Dumbravă Virgil, nr. 5, p. 208 (IV, 2), nr.5, p. 226 (VIII, 10), nr. 6, p. 257 (III, 2), nr.6, p. 268 (VIII, 12)

Engster Filip, nr. 1, p. 20 (V, 2)
Eremia Mircea, nr.5, p. 201 (VIII, 9)

Fezi Cristian, nr. 1, p. 31 (VIII, 1)

Gavrilaş Mihai, nr. 6, p. 249 (VIII, 11)
Georgescu Adriana, nr. 1, p. 37 (XXII, 2)
Georgescu Gheorghe, nr. 6, p. 249 (VIII, 11)
Germond Alain, nr. 5, p. 201 (VIII, 9)
Gheorghe Ştefan, nr. 2, p. 91 (I, 2)
Goia Laurenţiu, nr. 2, p. 59 (Editorial, 2)
Golovanov Carmen, nr. 2, p. 70 (II, 2)
Golovanov Nicolae, nr.1, p. 91 (I, 2), nr. 2, p. 70 (II, 2), nr.2, p. 85 (XII, 1)
Golumbeanu Virgil, nr. 2, p. 85 (XII, 1), nr. 4, p. 183 (VIII, 7)
Grigoriu Viorel, nr. 4, p. 172 (VIII, 5)

Indre Gheorghe, nr.3, p. 126 (I, 7)
Ioan Ştefania, nr. 2, p. 77 (II, 3)
Iordănescu Ion, nr. 3, p. 130 (I, 8)
Itoafă Alexandru, nr. 5, p. 208 (IV, 2), nr. 5, p. 217, (IV, 3), nr. 5, p. 225 (XVI, 5)

Leonescu Daniel, nr. 4, p. 183 (VIII, 7)
Liciu Nicolae, nr. 3, p. 105 (Editorial, 3)
Luca Gheorghe, nr. 3, p. 143 (VI, 1)
Lungu Ion, nr. 2, p. 91 (I, 2)

Manolescu George, nr. 5, p. 225 (XVI, 5)
Marinescu Andrei, nr. 2, p. 97 (XVI, 1)
Mănescu Leonardo-Geo, nr. 6, p. 273 (IV, 6)
Miclescu Theodor, nr. 5, p. 208 (IV, 2), nr. 5, p.226 (VIII, 10), nr. 6, p. 257 (III, 2), nr. 6, p. 268 (VIII, 12)
Mihalcea Eugen, nr. 1, p. 38 (VIII, 2)
Mircea Ion, nr. 6, p. 273 (IV, 6)
Moldoveanu Constantin, nr.4, p. 172 (VIII, 5)
Moroldo Hrisia, nr. 1, p. 54 (XXII, 3)
Munteanu Constantin, nr. 6, p. 278 (XVI, 6)
Muşatescu Virgil, nr.3, p. 105 (Editorial, 3)

Negru Viorel, nr. 4, p. 193 (XVI, 3)
Nica Nistor, nr. 1, p. 31 (VIII, 1)

Palade Roxana, nr. 1, p. 4 (V, 1)
Panaitescu George Ştefan, nr. 3, p. 111 (I, 4)
Pâslaru Cornel, nr. 1, p. 3 (Editorial, 1), nr. 1, p. 27 (I, 1)
Piciu Sorin, nr. 1, p. 31 (VIII, 1)
Pispiris Cristian Sorin, nr. 1, p. 45 (VIII, 3)
Pomârleanu Marius, nr. 5, p. 208 (IV, 2)
Popa Radu, nr. 2, p. 77 (II, 3)
Popescu Anca, nr. 5, p. 235 (III, 1)
Popescu Cristina, nr. 5, p. 217 (IV, 3)
Popescu Daniela, nr. 4, p. 189 (VIII, 8)
Popescu Silvia, nr. 2, p. 97 (XVI, 1)
Predoiu Dan Ion, nr. 3, p. 146 (I, 9)
Preda Laurean, nr. 4, p. 189 (VIII, 8)
Purdilă Răzvan, nr. 3, p. 115 (I, 5)

Radu Constantin, nr. 1, p. 27 (I, 1), nr. 4, p. 172 (VIII, 5)
Roşca Vlad, nr. 4, p. 172 (VIII, 5)
Roşu Anton, nr. 3, p. 114 (XVI, 2)
Rucăreanu Costin, nr. 4, p. 196 (XVI, 4)

Săuleac Ion, nr. 6, p. 280 (XVI, 7)
Scripcariu Daniela, nr. 5, p. 239 (IV, 5)
Scripcariu Mircea, nr. 5, p. 239 (IV, 5)
Scurariu Mircea, nr. 2, p. 77 (II, 3)
Silaghi Mircea, nr. 1, p. 31 (VIII, 1)
Simon Peter, nr. 4, p. 157 (V, 3)
Sfetcu Cornel, nr. 1, p. 10 (XXII, 1)
Sfichi Romulus, nr. 2, p. 65 (II, 1), nr. 4, p. 180 (VIII, 6)
Spînoche Horaţiu, nr. 1, p. 20 (V, 2)
Stein Manfred, nr. 5, p. 235 (III, 1)
Svasta Paul, nr. 2, p. 85 (XII, 1), nr. 4, p. 183 (VIII, 7)

Teodoroiu Victor, nr. 1, p. 4 (V, 1)
Titihăzan Mariana, nr. 4, p. 193 (XVI, 3)
Titihăzan Viorel, nr. 4, p. 193 (XVI, 3)
Toader Cornel, nr. 2, p. 77 (II, 3)
Triştiu Ion, nr. 5, p. 201 (VIII, 9)

Ţuţuianu Ovidiu, nr. 3, p. 134 (XII, 2)

Victor Marin , nr. 3, p. 139 (XII, 3)
Vlădescu Marian, nr. 1, p. 4 (V, 1)

Ungureanu Marilena, nr. 2, p. 60 (VIII, 4), nr. 2, p. 77 (II, 3)

Zlatanovici Dan, nr. 1, p. 11, (IV, 1)

INHALT

MIHAI GAVRILAŞ, GHEORGHE GEORGESCU: Die Anwendung genetischer Algorythmen zur Festlegung des optimalen Betriebsschaltbildes der stästischen Verteilungsnetze 249
GABRIEL BAZACLIU, THEODOR MICLESCU, JEAN CONSTANTINESCU, VIRGIL DUMBRAVĂ: Mathematisches Modell und Lösungsmethode zur mittelfristigen Programmierung des optimalen Betriebes des nationalen Verbundsystems 257
VIRGIL DUMBRAVĂ, THEODOR MICLESCU, GABRIEL BAZACLIU: Sequentialalgorythmus zur Projektierung der Trassenkonfiguration fur vermaschte städtische Verteilungsnetze 268
ION MIRCEA, LEONARDO-GEO MĂNESCU: Optimierung der Bemessung und der Kontrolle über die Kurzschlußkapazitäten zur Kompensation auf der Ebene der Verteiler-Speiseleitungen 273

INFORMATION
CONSTANTIN MUNTEANU: Technologie zur Farbanstrichbestimmmung fur Metallmaste der elektrischen Freileitungen 278
LELIAN CIOROIANU, GABRIELA CIOROIANU, IOAN SĂULEAC, RODICA ALBIŞOR, GEORGE BARBU, ADRIAN BANTAŞ: Neue Werkstoffe fur die Anwendung der Instandhaltungstechnologien in den energietechnischen Anlagen 280
x x x UNIPEDE 285

WISSENSCHAFTLICH-TECHNISCHE VERANSTALTUNGEN 289

Gesamter inhalt zeitschrift ENERGETICA, serie B, erscheinungsjahr 1996 290

Alphabetische abfuhrung der autoren, deren artikel in - den serie B der zeitschrift ENERGETICA, 1996, erschuenen sind 292

CONTENTS

MIHAI GAVRILAŞ, GHEORGHE GEORGESCU: The usage of Genetic Algorithms for the Determination of the Optimum Diagram of the Urban Distribution Networks 249
GABRIEL BAZACLIU, THEODOR MICLESCU, JEAN CONSTANTINESCU, VIRGIL DUMBRAVĂ: Mathematical Model and Method to Solve the Programming of the Optimum Operation of the National Power System on Medium Periods of time 257
VIRGIL DUMBRAVĂ, THEODOR MICLESCU, GABRIEL BAZACLIU: Sequential Algorithm for the route configuration design of a loop distribution system 268
ION MIRCEA, LEONARDO-GEO MĂNESCU: The optimization of the dimensions and control of the shunt capacities to compensate the distribution feeders level 273

INFORMATION
CONSTANTIN MUNTEANU: Determination technology for the metallic poles paint cover used in the overhead electric lines 278
LELIAN CIOROIANU, GABRIELA CIOROIANU, IOAN SĂULEAC, RODICA ALBIŞOR, GEORGE BARBU, ADRIAN BANTAŞ: New materials, necesary for the maintenance technologies application to the power installations 280
x x x UNIPEDE 285

EVENTS 289

General contents of the ENERGETICA review, serie B, for 1996 290

Alphabetic index of the authors of articles published by the ENERGETICA review, serie B, for 1996 292

SOMMAIRE

MIHAI GAVRILAŞ, GHEORGHE GEORGESCU: L'utilisation des algorithmes génétiques afin de déterminer le schéma optimal de fonctionnement des réseaux de distribution urbaine 249
GABRIEL BAZACLIU, THEODOR MICLESCU, JEAN CONSTANTINESCU, VIRGIL DUMBRAVĂ: Modèle mathématique et méthode de résolution pour la programmation du fonctionnement optimal du Système Energétique National (SEN) à moyen terme 257
VIRGIL DUMBRAVĂ, THEODOR MICLESCU, GABRIEL BAZACLIU: L'utilisation de l'algorithme séquentiel afin de concevoir la configuration des parcours des réseaux électriques urbaines de distribution bouclés 268
ION MIRCEA, LEONARDO-GEO MĂNESCU: L'optimalisation du dicnsionnement et du contrôle des condensateurs de shunt pour la compensation au niveau des lignes de distribution 273

INFORMAŢII
CONSTANTIN MUNTEANU: Technologie pour déterminer le revêtement à peinture des pylônes métalliques de lignes électriques aériennes 278
LELIAN CIOROIANU, GABRIELA CIOROIANU, IOAN SĂULEAC, RODICA ALBIŞOR, GEORGE BARBU, ADRIAN BANTAŞ: Des matériaux nouveaux nécessaires pour l'utilisation des technologies de maintenance aux installations énergétiques 280
x x x UNIPEDE 285

MANIFESTATIONS TECHNIQUES SCIENTIFIQUES 289

Sommaire general de la revue ENERGETICA, serie B, 1996 290

Index alphabetique des auteurs des articles publues dans la revue ENERGETICA, seria B, en 1996 292

СОДЕРЖАНИЕ

МИХАЙ ГАВРИЛАШ , ГЕОРГЕ ДЖЕОРДЖЕСКУ: Использование генетических алгоритмов для устаиавливания оптимальной схемы функционирования городских распределительных сетей 249
ГАБРИЕЛ БАЗАКЛИУ, ТЕОДОР МИКЛЕСКУ, ЖЕАН КОНСТАНТИНЕСКУ, ВИРДЖИЛ ДУМБРАВЭ: Математическая модель и метод решения для оптимального функционирования национальной энергетической системы, на средние сроки времени 257
ВИРДЖИЛ ДУМБРАВЭ, ТЕОДОР МИКЛЕСКУ, ГАБРИЕЛ БАЗАКЛИУ: Последовательный алгоритм для проектированя конфигурации трассы городски замкнутых электрических сетеи распределения 268
ИОН МИРЧЕА, ЛЕОНАРД-ДЖЕО МЭНЕСКУ: Оптимизация размеров и контроля ёмкостей шунтирования для компенсаций на уровне распределительных фидеров 273

ИНФОРМАЦИИ
КОНСТАНТИН МУНТЕАНУ : Технопогия идентификации покрытия красками металлических стоек воздушных электрических линий 278

ЛЕЛИАН ЧИОРОЯНУ, ГАБРИЕЛА ЧИОРОЯНУ, НОАН СЭУЛЕАК, РОДИКА АЛБИШОР, ДЖЕОРДЖЕ БАРБУ, АДРИАН БАНТАШ : Новые материалы нужные для применения технологий сопровождения энергетических установок 280

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ 289

Общее содержание журнала ЭНЕРГЕТИКА, серия Б, на 1996 год 290

Алфавитный указатель авторов статьей, опубликованных в журнале ЭНЕРГЕТИКА, серия Б, 1996 292

Colegiul de Redacție, Biroul de Redacție

și redacția revistei **ENERGETICA**

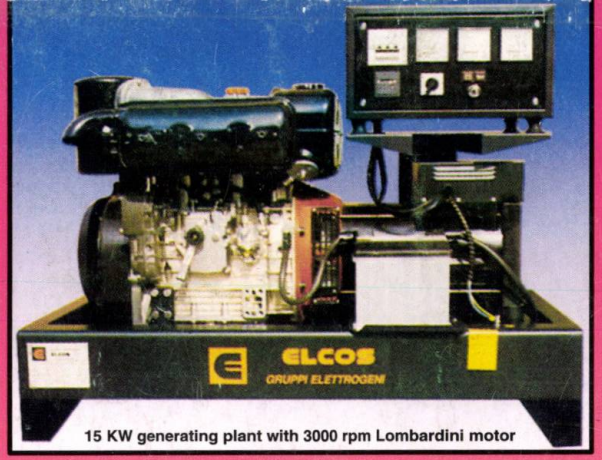
urează tuturor cititorilor, colaboratorilor și

abonaților săi un an nou fericit.

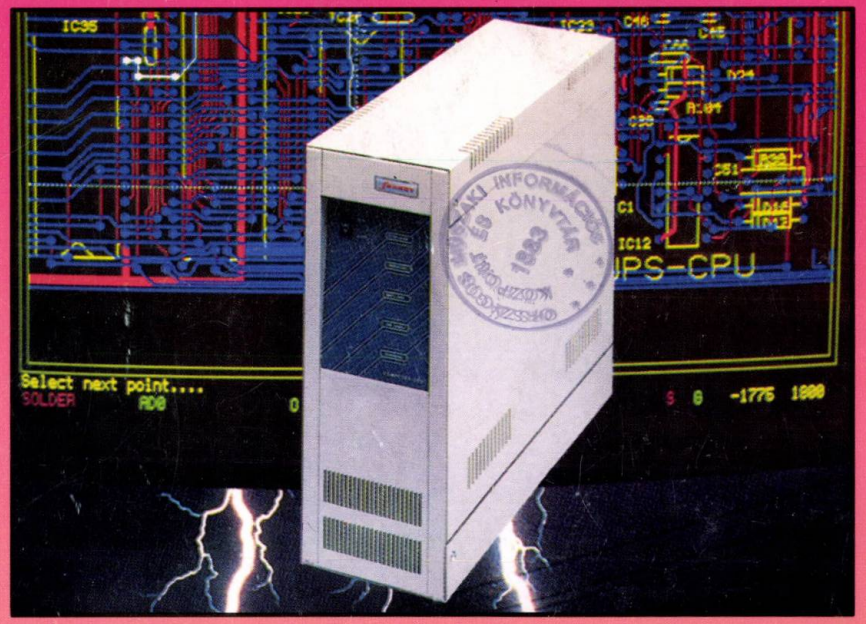
La mulți ani !

RO SHANDY s.r.l.

TEL.: 0040/1/746.05.67
TEL./FAX: 0040/1/312.95.10
BUCUREŞTI sector 6,
BD. TIMIŞOARA 39, bl. 36, ap.11



15 KW generating plant with 3000 rpm Lombardini motor



Societatea româno-italiană **RO SHANDY SRL** a fost creată ca societate mixtă cu parteneri italieni producători de echipamente electronice. Societatea funcţionează în domeniile: comerţ, producţie, proiectare, service pe echipamente fabricate în ITALIA.

Echipamentele pe care le oferim sunt următoarele:

- **SURSE DE ALIMENTARE NEÎNTRERUPTĂ** (UPS) în gama 100W...26kVA cu aplicaţii de alimentare a calculatoarelor şi reţelelor de calculatoare, sisteme de telecomunicaţii, centrale digitale, aparatură medicală, procese automatizate.
- **INVERTOR+REDRESOR** gama 500 VA.....800 kVA cu aplicaţii industriale, navale etc.
- **INVERTOARE SPECIALE** 110 Vc.c./220 Vc.a. şi 220 Vc.c./220 Vc.a. pentru staţii electrice RENEL.
- **STABILIZATOARE C.A** mono şi trifazate 300 W.....100 kVA.
- **REDRESOARE** cu microprocesor pentru încărcarea bateriilor.
- **CONVERTIZOARE TRIFAZATE c.a./c.c.** reversibile, cu recuperare de energie în reţea, controlate cu microprocesor.
- **CONVERTIZOARE STATICE DE FRECVENŢĂ FIXĂ** în gama 45...400 Hz şi puteri 1...600 kVA.
- **CONVERTIZOARE STATICE DE FRECVENŢĂ VARIABILĂ** pentru acţionarea motoarelor asincrone, monofazate şi trifazate, cu microcontroler şi control de câmp cu puteri 0,75....110 kW.
- **DEMAROR DE MOTOARE ASINCRONE**
- **GRUPURI ELECTROGENE** cu motoare IVECO AIFO, CUMMINS, PERKINS, VOLVO PENTA, SAME, VM, LOMBARDINI, LISTER PETTER, cu gama între 2...1400 kVA, răcire cu apă sau aer insonorizate, mobile sau construite în bază fixă.

Întreprinderea producătoare italiană *SHANDY* este atestată ISO 9001, iar produsele sunt omologate de institutul german FACHAUSSCHUB ELEKTROTECHNIK.